

Estudo e otimização do processo RIM para DCPD
Estágio realizado no CEIIA

Joana Sofia Almeida Donas de Oliveira

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador no CEIIA: Eng.º Paulo Machado

Orientador na FEUP: Eng.ª Ana Reis



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro 2014

Aos meus Pais

Resumo

O estágio que deu origem a esta dissertação decorreu em ambiente empresarial no CEiiA e teve como objetivo a definição de estratégias para otimizar o processo RIM para DCPD para médias e grandes séries. Para tal, utilizou-se a injeção do Capôt do Mobi (Carro elétrico) para se estudar o processo e perceber possíveis melhorias que tornasse o processo mais eficiente. Aproveitou-se ainda a produção de outras peças em DCPD RIM, que decorriam aquando da realização deste trabalho, para complementar este estudo.

Estudou-se o material utilizado, os equipamentos, os moldes, a geometria das peças, os parâmetros do processo e as dificuldades relacionadas com o enchimento e extração da peça. Também foram documentadas as etapas de acabamento, observados os defeitos típicos das peças e as reparações realizadas, incompatíveis com as grandes séries. Usaram-se ferramentas de simulação, o processo de engenharia inversa e o controlo dimensional para estudar as peças.

A formulação do DCPD RIM torna difícil a simulação do processo, devido às diferentes variáveis envolvidas, a rapidez da reação e o desconhecimento das leis do material. Assim, apesar de os *softwares* possuírem um Módulo RIM, as suas formulações não estão preparadas para simular o comportamento deste material. Com as simulações pôde-se identificar locais de aprisionamento de ar. Observou-se que os reservatórios maquinados nos moldes estão bem posicionados, uma vez que, de acordo com a simulação, estão colocados nas últimas zonas a encher e junto de locais prováveis de aprisionamento de ar.

Relativamente ao processo, verificou-se que um molde com temperaturas de serviço mais baixas pode conduzir a peças com melhor qualidade superficial, tornando-se mais fácil e rápido o aquecimento do molde, aumentando a produtividade e melhorando economia do processo. Os tempos de injeção estão dentro do intervalo de tempos estimados ou ligeiramente superiores.

A digitalização, análise de espessuras e a medição das peças ajudaram a identificar empenos e problemas relacionados com a contração. Pela análise de algumas dimensões, especialmente a espessura, e massas das peças, tudo aponta para que a contração utilizada, 1%, seja superior ao necessário.

Para as peças em estudo constatou-se que todas apresentam pequenos defeitos, mas também se verificou que todos esses defeitos podem ser corrigidos, ainda que isso implique tempo extra, e que no caso de produção de grandes séries, tornaria impraticável, (já que o tempo perdido com as reparações diminuiria muito a produtividade).

Para assegurar a completa polimerização do material, e evitar defeitos provocados pela contração devem de se usar espessuras mínimas nunca inferiores a 3 mm, já que este valor é uma limitação do material, evitando assim o aparecimento de defeitos.

De forma a encontrar soluções, foram identificadas as dificuldades deste processo e sugeridas alterações que permitam melhorar a eficiência do processo relativamente ao enchimento das peças, a sua extração e acabamentos. Assim enumeram-se algumas soluções possíveis para melhorar o processo, reduzindo os defeitos e consequente o tempo perdido em reparações, contribuindo para a maior produtividade: como:

- utilizar um mecanismo simples de alavanca, para facilitar a extração da peça;
- optar por uma prensa basculante que facilita o enchimento da peça e ajuda à libertação de ar aprisionado dentro do molde, melhorando a qualidade final das peças, com redução de defeitos;
- automatizar o processo, com mecanismos hidráulicos, de forma a permitir o uso de placas de extração e ainda movimentos do molde e de postigos.

Study and optimization of the process RIM for DCPD

Abstract

The internship that led to this dissertation took place in an industrial environment on CEiiA and the goal was to defining strategies to optimize the RIM process for DCPD for medium and large series. For that was used the injection of Mobi's Bonnet (Electrical Car) to study the process and realize possible improvements that would make the process more efficient. It has also taken advantage of the production of other DCPD RIM parts, which stemmed during the course of this work to complement this study.

It was studied the material used, equipments, molds, the geometry of the pieces, process parameters, and difficulties related to the filling and extraction. Were also documented finish steps, observed the typical defects of pieces and corrections made, which was incompatible with the large series. It was used simulation tools, the reverse engineering process and dimensional control to study the pieces.

The formulation of DCPD RIM makes it difficult to make the simulation, due to the different variables involved, the reaction speed and unknowledge of the laws of the material. So despite having a RIM software module, their formulations are not prepared to simulate the behavior of this material. With the simulations it was possible to identify the locations of air trapping. It was observed that the vents machined in the mold are properly positioned, since they were in accordance with the simulation and are placed in the last zones to be filled, which are the probable locations of air entrapment.

Relatively to the process, it was found that a mold with lower service temperature may lead to pieces with better quality surface, making it easier and quicker the heating of the mold, leading to higher productivity and process economics. The injection times are in the range or slightly higher than the estimated time.

The scan analysis, and the dimensional control, including thickness measuring helped identify problems associated with warping and shrinkage. For the analysis of some dimensions, thicknesses and masses of the pieces, everything points that the contraction used in the simulations, 1%, is higher than necessary.

For the pieces under study it was found that all have small defects, but it was also been found that all these defects can be corrected, even if this requires extra time in the production line and in the case of large production series it would be impractical because of the lost of time with touches which will decrease the productivity.

To ensure complete polymerization of the material, and prevent defects caused by contraction, it should be used minimum thickness of 3 mm, since this value is a limitation of the material and using thickness below this value would increases the probability of defects occurrence.

In order to find solutions, the difficulties of this process have been identified changes were suggested to improve the efficiency of the procedure for the filling of the pieces, their extraction and finishes. Some possible solutions were enumerated to improve the process by reducing defects and consequent reduction of time losses, contributing to higher productivity, as:

- Using a simple lever mechanism to facilitate the extraction of the piece;
- Opt for a tilting press which facilitates filling the piece and helps with the release of entrapped air within the mold, improving the final quality of the parts.

- Automate the process with hydraulic mechanisms to enable the use of plates and further extraction movement of the mold and false.

Agradecimentos

Ao meu orientador no CEiiA, Engenheiro Paulo Machado pelo apoio prestado, pela disponibilidade e esclarecimento de dúvidas.

Aos colaboradores do CEiiA, em particular à Sandra e Ricardo no auxílio da digitalização das peças em estudo, ao Francisco e Diogo durante as injeções das peças, ao Vitor e Hélder com o *software* Catia. Ao Fábio e Vítor pelo apoio informático, agradeço ainda ao André, Tiago, Ricardo, Manuel, Joel, Bernardo e ao Alexandre pelo esclarecimento de dúvidas. A todos um obrigado pela disponibilidade, paciência e ajuda prestada.

À minha orientadora Engenheira Ana Reis pelo acompanhamento, esclarecimento e disponibilidade demonstrada.

Aos Engenheiros António Torres Marques, Ricardo Santos, Ricardo Torcato pela informação disponibilizada e dúvidas esclarecidas.

Ao André Camboa pelos conhecimentos partilhado, informação disponibilizada e por todo o apoio demonstrado.

Ao Gilles Recher pela informação da Telene disponibilizada e dúvidas esclarecidas.

Aos meus pais e avós pelo apoio dado ao longo do meu percurso académico, nunca deixando de acreditar em mim, dando-me sempre motivação, força e estando sempre ao meu lado nos bons e nos maus momentos.

Ao João e todos os amigos por toda a ajuda, apoio e companheirismo.

E a todas as pessoas que se cruzaram comigo e de algum modo me transmitiram algum ensinamento.

A todos, o meu Muito Obrigada,

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1. Apresentação do CEIIA.....	3
1.2. Contextualização do tema.....	5
1.3. Motivação.....	6
1.4. Estrutura do Relatório	7
2. Revisão Bibliográfica.....	8
2.1. Termoendurecíveis	8
2.2. Processos de Fabrico.....	15
3. Metodologia	47
3.1. Materiais e Equipamentos.....	47
3.2. Métodos	51
4. Resultados e Análise.....	56
4.1. Peças em estudo	56
4.2. Análise experimental.....	58
5. Conclusões e Trabalhos Futuros	103
6. Bibliografia.....	105
ANEXO A: Processos de moldação por compressão, transferência e injeção – defeitos, causas e soluções	109
ANEXO B: Resultados Relacionados com o DCPD RIM.....	113
ANEXO C: Ficha Técnica da Resina Telene	126
ANEXO D: Ficha Técnica da Resina Metton	127
ANEXO E: Ficha Técnica da Resina Pentam	129
ANEXO F: Comparação de algumas propriedades do DCPD com outros materiais	130
ANEXO G: Guias de Design de Referência da Romeo Rim.....	132
ANEXO H: Guidelines da Bayer.....	133
ANEXO I: Guidelines da Telene SAS.....	134
ANEXO J: Ficha técnica Ebaboard W.....	145
ANEXO K: Propriedades do Alumínio 5083	147
ANEXO L: Equipamento RIM – ECOMASTER 2 100/50 da OMS Group.....	148
ANEXO M: Características da Prensa Hidráulica da FindAut.....	150
ANEXO N: Ficha técnica do COMET L3D	151
ANEXO O: Ficha técnica do T-SCAN 3	152
ANEXO P: Detalhe do Q-Bond Ultra Strong Adhesive & Filling Powders	153
ANEXO Q: Magnum Cap Frente	154
ANEXO R: Magnum Cap Traseira	158
ANEXO S: Canto	162
ANEXO T: Guarda-lamas.....	166

ANEXO U: Bonnet.....	170
ANEXO V: Ficha de Cálculos e Design da Gate e Reservatórios	172
ANEXO X: Tempos de Injeção.....	179
ANEXO Z: Resumo das condições de Processamento.....	181
ANEXO AA: Relatórios das simulações.....	183
ANEXO AB: Relatórios de comparação das sobreposições de peças	190
ANEXO AC: Acabamentos das peças	215

Índice de Figuras

Figura 1 – Categorias dos Polímeros Sintéticos.	1
Figura 2 – Posicionamento qualitativo do processo RIM em comparação com outros processos (Vervacke 2008).	2
Figura 3 – Instalações e equipamentos do CEiiA, no Tecmaia (CEiiA).	4
Figura 4 – Buddy - veículo elétrico da Elbil Norge, desenvolvido em parceria com o CEiiA (Telene SAS).	5
Figura 5 – Simulação de enchimento do pára-choques dianteiro em PU RIM com o Módulo RIM no Moldex 3D (Moldex3D).	6
Figura 6 – Gráfico Viscosidade vs Tempo, representativo do ponto de gel (Universidade do Minho 2007).	8
Figura 7 – Diagrama TTT – Tempo – Temperatura – Transições (Gaspar 2006).	9
Figura 8 – Diagramas CHT - Transições por aquecimento contínuo (Gaspar 2006).	10
Figura 9 – Diagrama CTT – Conversão -Temperatura -Transição (Gaspar 2006).	10
Figura 10 – Estrutura da Molécula de DCPD (Merck Index).	13
Figura 11 – Isómero endo (a) e exo (b) de DCPD (Rule 2005).	13
Figura 12 – Cinética de polimerização dos isómeros endo e exo de DCPD (Rule 2005).	14
Figura 13 – Esquema dos Processo de moldação.	16
Figura 14 – Esquema do Processo de moldação por compressão ("CES EduPack 2014").	16
Figura 15 – Esquema do Processo Moldação por Injeção ("CES EduPack 2014").	17
Figura 16 – Esquema do Processo de moldação por extrusão ("CES EduPack 2014").	17
Figura 17 – Esquema do Processo de moldação por rotação, <i>rotational molding</i> ("CES EduPack 2014").	18
Figura 18 – Técnicas de injeção moldação reativa, a) RTM, b) RIM, c) RRIM e d) SRIM (Monk 1997).	18
Figura 19 – Esquema do Processo de moldação por compressão ("CES EduPack 2014").	19
Figura 20 – Esquema do Processo de moldação por fundição ("CES EduPack 2014").	19
Figura 21 – Esquema do Processo RIM de PU (Bayer).	20
Figura 22 – Alterações reológicas durante o ciclo RIM (Macosko 1989).	21
Figura 23 – Pressão versus tempos, durante um ciclo de injeção, na unidade de mistura (Macosko 1989).	21
Figura 24 – Variáveis do processo RIM (Monk 1997).	22
Figura 25 – Diagrama de moldabilidade para atingir uma boa mistura, completo enchimento do molde, sem ar aprisionado ou degradação (Macosko 1989).	23
Figura 26 – Enchimento de uma placa, comportamento do fluxo a uma velocidade de 1.25m/s e uma viscosidade de 900 MPa.s (Macosko 1989).	25

Figura 27 – Três tipos de configurações de gates: a) <i>Fan gate</i> , b) <i>Dam gate</i> e c) <i>Rod</i> ou <i>Sprue gate</i> (Macosko 1989).	25
Figura 28 – Tipos de PU fornecidos pela Bayer, com diferentes propriedades e direcionados para várias aplicações (Bayer).	26
Figura 29 – ROMP do DCPD com catalisador de Grubbs (Kessler e White 2002).	27
Figura 30 – Rácio entre o peso e a área, de cada carro em estudo (Camboa et al. 2012).	29
Figura 31 – Geometria dos provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) , para ensaios à flexão (Camboa et al. 2013).	30
Figura 32 – Curvas tensão e deformação do ensaio de flexão, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).	30
Figura 33 – Módulo de flexão de ambas as amostras, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).	31
Figura 34 – Densidades obtidas dos provetes ensaiados, com e sem reforços metálicos, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).	31
Figura 35 – Produtos produzidos pela Osborne Industries com o RIM de PU (Osborne Industries).	33
Figura 36 – Produtos produzidos pela Osborne Industries com o RIM de DCPD (Osborne Industries).	33
Figura 37 – Produtos produzidos pela Polirim em DCPD RIM, Painéis exteriores médios e grandes, capôs, guarda-lamas, etc. (Polirim).	34
Figura 38 – As saliências devem ter reforços, ou estar conectadas com as paredes (A Design Guide 1995).	36
Figura 39 – A forma correta dos cantos salientes é manter a espessura das paredes (A Design Guide 1995).	36
Figura 40 – Molde Protótipo em EbaBoard W produzido no CEiiA.	37
Figura 41 – Configuração típica de um Molde de RIM, com um misturador (<i>aftermixer</i>) e <i>Dam gate</i> (A Design Guide 1995).	37
Figura 42 – Projeto de moldes, em termos de localização da <i>gate</i> , reservatórios, <i>flash</i> e <i>gasket</i> (Telene SAS).	38
Figura 43 – Exemplo de <i>Gate</i> utilizada nas peças em estudo.	39
Figura 44 – Design das gates (Telene SAS).	40
Figura 45 – Reservatório utilizado nos moldes.	40
Figura 46 – <i>Design</i> da ventilação (Telene SAS).	41
Figura 47 – Design do <i>flash</i> e <i>gasket</i> (Telene SAS).	42
Figura 48 – Comportamento ao desmoldar (Telene SAS).	44
Figura 49 – Comparação de custos (Telene SAS Março 2007).	45
Figura 50 – Linha de tempo de produção e acabamento de uma peça DCPD	46
Figura 51 – Componente A da resina Telene.	48

Figura 52 – Componente BK da resina Telene.....	48
Figura 53 – Teste de tempo de fumo (Telene SAS).	48
Figura 54 – Teste de tempo de fumo e ensaio ETA-100 (Telene SAS).	49
Figura 55 – Exemplo de uma Cabeça de Mistura (OMSgroup) (à esquerda) e Foto da cabeça de mistura existentes no CEiiA (à direita).....	50
Figura 56 – Equipamento RIM.....	50
Figura 57 – Prensa Hidráulica.	51
Figura 58 – Posicionamento do molde na extremidade da mesa da prensa, para conseguir fixar a cabeça da mistura no molde.....	51
Figura 59 – Equipamento de digitalização - COMET L3D – 2M Steinbichler (Steinbichler).	53
Figura 60 – Equipamento de digitalização - T-SCAN 3 Steinbichler (Steinbichler).	53
Figura 61 – Alinhamento do cad (a laranja) e do stl (a cinzendo), lado esquerdo, seguida da sobreposição dos dois, lado direito.....	53
Figura 62 – Kit reparador Q – Bond (JWRross).....	54
Figura 63 – Primário Selemix 7-530 (PPG).	54
Figura 64 – Desengordurante Anti Silicone (Robbialac).	54
Figura 65 – Betume Poliester, Rapid Stopper U1080 da Standox (Standox).....	55
Figura 66 – Esmalte Acrílico Selemix 7-110 (PPG).	55
Figura 67 – Fecho da prensa antes de iniciar a injeção.	59
Figura 68 – Primeira injeção - tempo de injeção de 1 segundo.....	59
Figura 69 – Molde fixo à prensa hidráulica aberta.	59
Figura 70 – Malha da peça a simular.....	60
Figura 71 – Peça e <i>gate</i> importadas para o <i>software</i> Moldflow.	60
Figura 72 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.	60
Figura 73 – Locais de aprisionamento de ar.....	61
Figura 74 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.	62
Figura 75 – Locais de aprisionamento de ar.....	62
Figura 76 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.	63
Figura 77 – Locais de aprisionamento de ar.....	63
Figura 78 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.	64
Figura 79 – Locais de aprisionamento de ar.....	65
Figura 80 – Peças desde a primeira até a sexta injeção.	66
Figura 81 – Exemplos de fixação dos moldes à prensa.	68
Figura 82 – Alinhamento e sobreposição com pontos de referência entre a digitalização realizada e as anteriores.	69
Figura 83 – Duas posições do stl da peça canto digitalizada.....	69

Figura 84 – Duas posições do cad da peça canto.	70
Figura 85 – Duas posições da sobreposição.	70
Figura 86 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -3 e 3 mm.	71
Figura 87 – Localização de algumas partes da peça.	71
Figura 88 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.6 mm, duas posições da peça.	72
Figura 89 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.	73
Figura 90 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 4.8 mm.	73
Figura 91 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.	74
Figura 92 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 4.5 mm.	74
Figura 93 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.	75
Figura 94 – Legenda da localização de algumas partes da peça.	75
Figura 95 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 7 mm.	76
Figura 96 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.	76
Figura 97 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 6.5 mm.	77
Figura 98 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.	77
Figura 99 – Legenda da localização de algumas partes da peça.	78
Figura 100 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.8 mm.	78
Figura 101 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.	79
Figura 102 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.6 mm.	79
Figura 103 – Peça mais recente.	81
Figura 104 – Medições realizadas à peça mais antiga, comprimentos, diâmetros e espessuras.	81
Figura 105 – Medições realizadas (comprimentos e diâmetros), à peça inicial.	83
Figura 106 – Peça mais recente.	83
Figura 107 – Medições realizadas, comprimentos, diâmetros e espessuras.	84
Figura 108 – Medições realizadas.	85
Figura 109 – Medições realizadas.	85
Figura 110 – Medições de espessuras realizadas.	86
Figura 111 – Peça antes das alterações, sem ribs.	87
Figura 112 – Medições realizadas, comprimentos e diâmetros.	87
Figura 113 – Medições de espessuras realizadas.	88
Figura 114 – Ferramentas para trimar e lixar as peças.	93
Figura 115 – Peça injetada, antes dos acabamentos.	93
Figura 116 – Trimar o exterior e interior das peças, rebarbas e a gate.	94

Figura 117 – Lixagem da peça.	94
Figura 118 – Peças após aplicação do primário. De referir que o exterior da peça, lado visível, (imagem do lado esquerdo) é o que necessita de uma melhor pintura.	94
Figura 119 – Peças traseiras pintadas.	95
Figura 120 – Peças frentes pintadas.	95
Figura 121 – Peças canto, peça esquerda sem acabamentos, peça direita – canto estudado, trimada e lixada.	95
Figura 122 – Furo após enchimento com o kit reparador (pó mais adesivo), já lixado (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).....	96
Figura 123 – Furo existente na peça traseira do Magnum Cap, (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).....	96
Figura 124 – Peça Magnum Cap, antes, durante e após a aplicação do primário, da esquerda para a direita.	97
Figura 125 – Defeito no exterior da peça.	97
Figura 126 – Peça frente e traseira encaixada.	97
Figura 127 – Peça traseira lixada, lado esquerdo - exterior, lado direito - interior da peça.	98
Figura 128 – Furo visualizado anteriormente, após aplicação do primário e antes do betume (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).	98
Figura 129 – Peça inicial (à esquerda), aplicação de betume na mesma peça (no meio) e depois do betume seco e lixada (à direita).	98
Figura 130 – Em cima, peça com betume, em baixo peça lixada após aplicação de betume, lado esquerdo interior da peça, lado esquerdo – exterior da peça.	99
Figura 131 – Peça Magnum Cap traseira, no início (canto superior esquerdo), lixado após primário (canto superior direito), depois de aplicado o betume (canto inferior esquerdo), após lixada após betume (canto inferior direito).....	99
Figura 132 – Defeitos provocados por falta de material: peça Magnum Cap Frente (em cima à direita), Guarda-lamas (em cima à esquerda), Magnum Cap Traseira (em baixo à direita) e Canto (em baixo, à direita).	100
Figura 133 – Defeitos devido a ar acumulado: em cima peça Magum Cap Traseira, no meio Peça Canto e em baixo peça Magnum Cap Frente.	101

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparações de algumas variáveis entre os processos RIM e TIM (Lee 1980).....	3
Tabela 2 – Propriedades dos termoendurecíveis mais comuns (Antunes 2007).	11
Tabela 3 – Propriedades do PU RIM (Macosko 1989).	12
Tabela 4 – Propriedades físicas do DCPD (Ng 1992).	14
Tabela 5 – Polímeros utilizados no RIM (Monk 1997).	24
Tabela 6 – Carros e respetivos materiais das portas laterais, usadas no estudo de Camboa (Camboa et al. 2012), com base no estudo da Lotus (Lotus Engineering Inc.).....	29
Tabela 7 – Algumas propriedades da série 1600 da Resina Telene.	32
Tabela 8 – Vantagens e Desvantagens do PU RIM e DCPD RIM.	35
Tabela 9 – Tabela comparativa entre o PU eo DCPD (Vervacke 2008).	36
Tabela 10 – Comparação de alguns materiais de moldes para o DCPD RIM, em termos de vida útil, qualidade superficial, dureza, condutividade térmica (Telene SAS).	38
Tabela 11 – Percentagem de contração em função da espessura da peça (Telene SAS).	43
Tabela 12 – Investimentos e custos de operações para grandes peças plasticas (Telene SAS Março 2007).	45
Tabela 13 – Propriedades da resina Telene 1650 A/BK <i>Dicyclopentadiene</i> , segundo a Matweb (Matweb).	47
Tabela 14 – Peças em estudo, versões iniciais.	56
Tabela 15 – Peças em estudo com alterações.	57
Tabela 16 – Massas das peças em estudo, <i>gates</i> , reservatórios e <i>flash</i>	57
Tabela 17 – Tempo estimado de injeção das peças.	58
Tabela 18 – Registo das primeiras 8 injeções do Bonnet.	66
Tabela 19 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.	81
Tabela 20 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.	83
Tabela 21 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.	84
Tabela 22 – Controlo do diâmetro dos furos da peça.	85
Tabela 23 – Diâmetro das bolsas de material com insertos e espessura das nervuras.	85
Tabela 24 – Controlo das espessuras em redor da peça.	86
Tabela 25 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.	87
Tabela 26 – Controlo das espessuras em redor da peça.	88
Tabela 27 – Peças Magnum Cap Frente em estudo.	90
Tabela 28 – Pesagem das peças Magnum Cap Frente em estudo.	90
Tabela 29 – Peças Magnum Cap Traseira em estudo.	90
Tabela 30 – Pesagem das peças Magnum Cap Traseira em estudo.	91
Tabela 31 – Peças Canto em estudo.	91

Tabela 32 – Pesagem das peças Canto em estudo.	91
Tabela 33 – Peças Guarda-lamas em estudo.	92
Tabela 34 – Pesagem das peças Guarda-lamas em estudo.	92

Nomenclatura

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno

CEiiA - Centro para a Excelência e Inovação da Industrial Automóvel

CHT - Transições por aquecimento contínuo

CTT - Conversão - Temperatura -Transição

C₅H₆ - Ciclopentadieno

C₁₀H₁₂ - Diciclopentadieno

DCPD - Diciclopentadieno

DL50 - Dose letal

EPDM - Etileno/propileno/dieno

GRP - Fibras de vidro, reforçadas com poliéster - Fiber-glass reinforced polyester

gelTg - Temperatura correspondente ao instante em que a gelificação e a vitrificação são coincidentes

IM - Injeção de termoendurecíveis - Injection Molding

LC50 - Concentração letal

LFI - Longer Fiber Injection

LMR - Resina líquida moldável

m - Massa

PDCPD -Polidiciclopentadieno

PRF - Plásticos reforçados com fibras

PU - Poliuretano

PP - Polipropileno

Re - Número de Reynolds

RIM - Moldação por injeção com reação - Reaction Injection Molding

ROMP - Ring-opening metathesis polymerization

RRIM - Reinforced reaction injection molding

RTM - Moldação por transferência de resina - Resin Transfer Molding

SIDS - Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

SMC - Sheet molding compounds

SMT - Smoke Time

SRIM - Structural reaction injection molding

Td - Temperatura de decomposição

Tg₀ - Temperatura de transição vítrea do material no estado líquido

TIM - Moldação por injeção de termoplástico - Thermoplastic injection molding

TTT - Tempo - Temperatura - Transições

T_{∞} - Temperatura de transição vítrea do material totalmente curado

V - Volume

V_{liquido} – Volume do líquido

$V_{\text{sólido}}$ – Volume do sólido

ZnAl₄Cu₃ - Kirksite

α_g - Fração de conversão para um determinado valor de temperatura de transição vítrea

α_{gel} - Fração de conversão para gel T_g

ρ - Densidade

ρ_{liquido} - Densidade do líquido

$\rho_{\text{sólido}}$ - Densidade do sólido

1. Introdução

Nas últimas décadas houve um crescente aumento da utilização de plásticos, acompanhando a evolução da indústria petroquímica, de onde derivam as resinas mais utilizadas pela indústria transformadora.

Foi no século XIX que surgiu a ciência e indústria de polímeros. Em 1917 apareceram as primeiras borrachas sintéticas, em 1937 os poliuretanos, em 1939 os epóxidos e os silicones em 1942. Paralelamente foram desenvolvidas novas técnicas de processamento dos polímeros (Pouzada e Bernardo 1983).

Atualmente a família dos plásticos, compreende mais de 35.000 tipos (Torcato 2013). Existem vários critérios para classificar os polímeros, contudo o critério mais utilizado tem em conta o comportamento térmico e mecânico, divide os polímeros em três categorias (Antunes 2007), Figura 1:

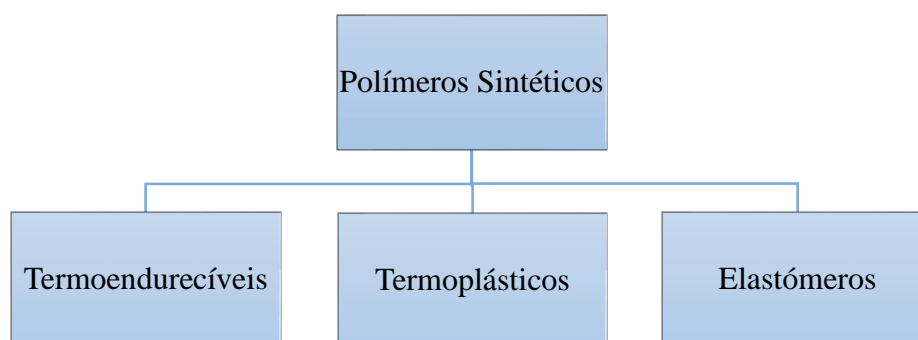


Figura 1 – Categorias dos Polímeros Sintéticos.

Os termoendurecíveis são compostos por uma rede tridimensional rígida de cadeias de moléculas longas com ligações cruzadas. São mais rígidos, resistentes e mais frágeis quando comparados com os termoplásticos (Antunes 2007). Podem ser processados/moldados por aplicação de calor, pressão ou por reação de monómeros. Estes fluem para preenchimento do molde, curam e solidificam depois de uma reação de reticulação química das suas moléculas (Torcato 2013). Não são reprocessados.

No caso da indústria automóvel o uso dos plásticos trás como principais vantagens a redução de peso, poupança de energia, redução de custos de produção, isolamento elétrico e térmico e resistência à corrosão. As desvantagens são as baixas resistências térmicas e mecânicas (Pouzada e Bernardo 1983).

Na década de 80 os termoendurecíveis eram dos polímeros menos produzidos, apesar de serem os primeiros a desenvolverem-se comercialmente. Isto deveu-se sobretudo as dificuldades no processamento destes materiais.

A introdução de novas tecnologias, como o RIM - *Reaction Injection Molding* ou moldação por injeção com reação, veio aumentar a utilização de termoendurecíveis (Pouzada e Bernardo 1983).

O RIM é uma tecnologia de fabrico utilizada para processar termoendurecíveis, como por exemplo: PU – Poliuretano, PDCPD - Polidiciclopentadieno, Epóxi entre outros ("CES EduPack 2014"). Em comparação com os principais processos de fabrico (extrusão, injeção,

sopro, etc), o RIM é uma tecnologia de produção relativamente nova e em crescimento, graças à sua versatilidade e capacidade de produzir peças de alta qualidade a baixo custo (Torcato 2013).

Vervacke, 2008, resumiu a informação comparativa, Figura 2, entre a tecnologia RIM e outras, numa base qualitativa em relação ao posicionamento da tecnologia em termos de método de processamento, capital, intensidade de trabalho, custo do molde e complexidade da peça (Vervacke 2008).

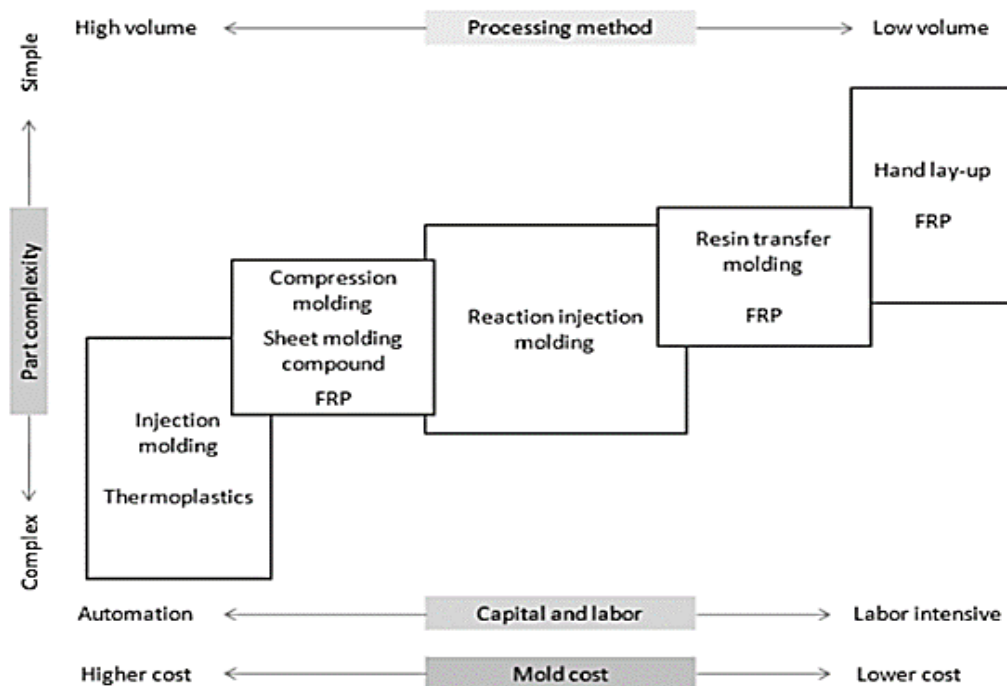


Figura 2 – Posicionamento qualitativo do processo RIM em comparação com outros processos (Vervacke 2008).

Pode-se observar que a tecnologia RIM relaciona de forma equilibrada todas as variáveis: custo molde, capital e mão-de-obra, complexidade e tamanho da série. O RIM traz uma solução económica para injeção de peças grandes em volumes pequenos a médios, 1000-15000 peças por ano. Em termos de investimento de capital é menos exigente que outros já que o equipamento de injeção RIM (dosagem e máquina de mistura) é muito mais barato. O custo de ferramentas é menor e ainda oferece a liberdade de projeto que permite a utilização de variações de espessura, com nervuras e inserções. Por outro lado, o RIM é mais rápido e necessita de menos mão-de-obra na fase de acabamentos que, por exemplo, o RTM (*resin tranfer molding*) – Moldação por transferência de resina (Torcato 2013).

O processo RIM quando comparado com o processo convencional de moldação por injeção de termoplástico – TIM (*Thermoplastic injection molding*) é bastante diferente. No TIM as pressões e o arrefecimento do molde levam à solidificação e compactação da peça. No RIM, é necessária uma rápida reação para formar ligações poliméricas tridimensionais. A reação tem que estar sincronizada com o processo, para que o tempo de enchimento do molde seja inferior ao tempo de gel (Ng 1992). As vantagens do RIM quando comparadas com o TIM, devem-se à baixa viscosidade dos reagentes e da mistura, o que permite a moldação de grandes peças com muito menores forças de fecho. Em termos de temperaturas, os reagentes no RIM estão a temperaturas inferiores às do TIM, além de que o calor gerado pela reação

química exotérmica acelera o processo de polimerização (Ng 1992). Segue-se uma tabela de comparação de algumas variáveis dos processos RIM e TIM, Tabela 1:

Tabela 1 – Comparações de algumas variáveis entre os processos RIM e TIM (Lee 1980).

	RIM	TIM
Temperature reactants mold	40°C 70°C	200°C 25°C
Material Viscosity	0.1 - 1 Pa.s	10 ² - 10 ⁵ Pa.s
Injection Pressure	100 bar	1000 bar
Clamping force (for 1 m ² surface part)	50 ton	3000 ton

1.1. Apresentação do CEiiA

O CEiiA – Centro de Excelência para a Inovação da Indústria Automóvel, fundado há 15 anos, foi um projeto inovador que uniu Empresas, Universidades, Centros de Inovação e Entidades Públicas. Está localizado no Tecmaia e em breve será inaugurado um Novo Centro em Matosinhos.

O trabalho realizado neste centro na área da mobilidade é inovador e criativo, e, permite desenvolver competências, talentos e novas oportunidades.

Atualmente considera-se o CEiiA não só um Centro de Excelência e Inovação para a Indústria Automóvel, mas também de aeronáutica, espaço e ferroviária. A sua atividade abrange a engenharia automobilística (mobilidade especialmente elétrica), aeronáutica, com recursos completos para o desenvolvimento de produtos, incluindo estilo, *design* e engenharia, prototipagem e teste. Projetos estes virados para a industrialização e comercialização de novos produtos e serviços de mobilidade.

O CEiiA tem parcerias internacionais tais como com Itaipu, na área Mobilidade. Também se encontra no projeto do novo avião militar KC-390, da Embraer, entre outros projetos.

O CEiiA está equipado com, Figura 3:

- Sala de realidade virtual;
- Equipamentos de instrumentação e inspeção;
- Equipamentos de digitalização (engenharia inversa);
- Máquinas CNC de 3, 5 e 6 eixos para diversos materiais;
- Equipamento RIM – *Reaction Injection Molding*;
- Estufa e autoclave;
- Sala limpa de compósitos;
- Máquina SLS – prototipagem rápida;
- Sala de pintura e de acabamentos.

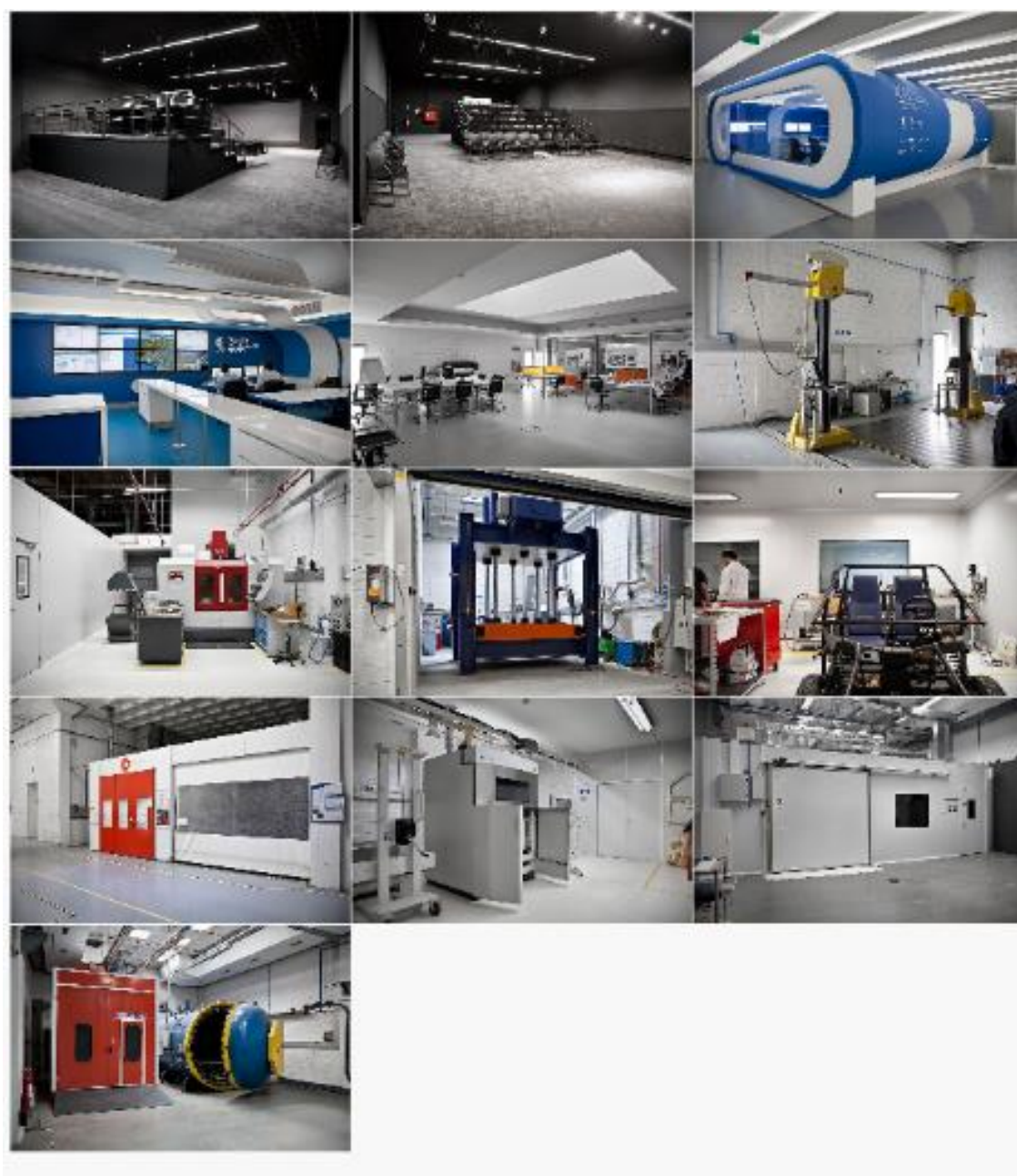


Figura 3 – Instalações e equipamentos do CEiiA, no Tecmaia (CEiiA).

Além das salas de projeto de engenharia e o Centro de Mobilidade Inteligente – rede MOBI.E.

O CEiiA está preparado para prestar serviços de:

- Desenvolvimento de conceitos e projetos;
- Realidade Virtual, apresentação de Protótipos virtuais;
- Desenvolvimento do Produto, Esboços e modelação;
- Engenharia, desenvolvimento de produto, simulação, cálculo estrutural, validação e montagem completa;
- Avaliação de desempenho estrutural, aerodinâmico, aeroacústica, HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado);

- Engenharia Inversa, Digitalização 3D, reconstrução de superfícies e inspeção dimensional;
- Equipamentos de apoio à produção, gabaris;
- Prototipagem (SLS, PolyJet), maquinagem e acabamentos;
- Ferramentaria Rápida, RIM, Pré-impregnados, vácuo, etc.;
- Testes e Ensaios.

1.2. Contextualização do tema

O uso do DCPD RIM (moldação por injeção com reação de diciclopentadieno) apareceu no CEiiA em 2008, aquando do *restyling* do carro elétrico Buddy, Figura 4, da Elbil Norge AS (empresa Norueguesa fabricante de carros elétricos). Este projeto surgiu com o objetivo de reduzir o peso do veículo, de forma a atrair um maior mercado. Para um carro elétrico, a escala de produção prevista em 2010, era cerca de 5 a 6 unidades por semana. Uma vez que se trata de uma série pequena, nem todas as tecnologias/matérias são favoráveis em termos de investimento, para a previsão do volume de produção. Os processos convencionais muitas vezes só compensam para grandes séries (Teixeira e Ribeiro 2010).



Figura 4 – Buddy - veículo elétrico da Elbil Norge, desenvolvido em parceria com o CEiiA (Telene SAS).

A substituição de materiais metálicos nos painéis exteriores por materiais ou combinações de materiais não metálicos, com uma relação razoável entre a densidade e a resistência, foi uma estratégia para a redução de peso do veículo (Teixeira e Ribeiro 2010).

A redução do peso num veículo elétrico é importante, já que cada kg do veículo consome 0,1WH/km de energia (Ribeiro, Brito, e Martins 2010).

Os veículos elétricos são usados para curtas distâncias, devida à baixa capacidade de armazenamento de energia das baterias. Assim, ao reduzir o peso do veículo, potencia-se a eficiência e o consumo de energia. Ao reduzir o peso total das partes do veículo, é possível

reduzir o consumo de energia dos veículos elétricos, ampliar as distâncias de alcance e reduzir o impacto ambiental total do veículo (Camboa et al. 2012).

Uma das alternativas foi recorrer ao uso do DCPD no processo RIM, para produzir todos os painéis exteriores do novo veículo, dando origem ao Buddy. Até então, nem o CEiiA nem a Elbil Norge tinham experiência anterior com o material e a tecnologia. A própria Telene SAS, empresa fabricante e fornecedora da resina Telene, nunca tinha estado envolvida num projeto do género: produção dos painéis exteriores de um veículo, em DCPD (Teixeira e Ribeiro 2010; Torcato 2013).

Este projeto apesar dos altos níveis de incerteza, foi um caso de sucesso, tanto ao nível da inovação tecnológica como em termos de desempenho financeiro, cumprimento de prazos e orçamento (Torcato 2013).

Esta nova combinação, material/tecnologia, era uma solução adequada a pequenas séries, por apresentar baixos investimentos em ferramentas e ter a capacidade de obter peças grandes, mais leves e resistentes. Desta forma conseguiu-se reduzir 50 kg em relação à solução anterior utilizada no Buddy com Fibras de vidro, reforçadas com poliéster (*Fiber-glass reinforced polyester* - GRP) (Teixeira e Ribeiro 2010).

No caso do Buddy o CEiiA responsabilizou-se apenas pelo protótipo inicial, a produção foi realizada pela empresa Portuguesa RIMSYS, atualmente insolvente. A partir deste trabalho, apareceram outros tipos de peças, cujos protótipos e produção têm sido responsabilidade do CEiiA.

1.3. Motivação

No que diz respeito a este trabalho, inicialmente estava previsto que este estudo se debruçasse sobre simulação da injeção de DCPD. Foi feito um levantamento dos *softwares* que permitiam a simulação de termoendurecíveis, em particular o Moldflow (Autodesk) e o Moldex 3D (Moldex3D) e constatou-se que estes programas incluíam um módulo de injeção RIM. Ao verificar a base de dados que alimenta o *software* Moldflow concluiu-se que não se encontrava o material pretendido, DCPD. Contactado o fornecedor do *software* Moldex 3D, Figura 5, obteve-se a confirmação de que o material também não estava disponível na base de dados.

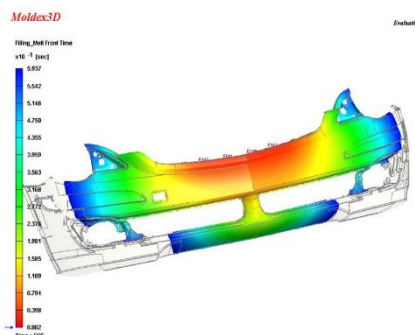


Figura 5 – Simulação de enchimento do pára-choques dianteiro em PU RIM com o Módulo RIM no Moldex 3D (Moldex3D).

Na tentativa de adicionar esse material, tornava-se necessário obter informação sobre as leis que o caracterizavam em termos cinéticos, químicos, alterações reológicas e viscosas. Recorrendo à ficha técnica disponibilizada pelo fornecedor não se encontraram informações

desse tipo. Foi então necessário contactar diretamente o fornecedor, Telene SAS, que referiu não existir qualquer informação até à data.

Uma vez que o material não se encontrava totalmente caracterizado, e apesar dos *softwares* aparentemente simularem o processo RIM, verificou-se que a nível da simulação apenas se conseguiu fazer algumas aproximações relacionadas com a fase de injeção (caminho do fluxo e aprisionamento de ar), já que era impossível averiguar aspetos relacionados com a reação (tempo de cura, força de fecho, contração) e finalização (avaliar defeitos e deformações).

Assim, tornou-se necessário fazer uma reformulação no estudo previsto. Não sendo possível simular o processo, o estudo centrou-se nas peças injetadas.

Atualmente as séries injetadas no CEiiA são pequenas e, tendo em conta, que se trata de um processo vantajoso para séries médias a grandes, torna-se necessário avaliar alterações que visem otimizar o processo de forma a melhorar a sua produtividade. Para tal pretende-se estudar os parâmetros do processo, identificadas as dificuldades, caracterizar defeitos, por forma a encontrar soluções que permitam melhorar a eficiência do processo, principalmente o enchimento das peças, a sua extração e acabamentos.

Também será necessário estudar o material utilizado, os equipamentos, os moldes, geometria das peças e parâmetros do processo. Documentar as etapas de acabamento e correções incompatíveis com as grandes séries. O uso de ferramentas de simulação, a engenharia inversa e o controlo dimensional podem ajudar na obtenção de resultados e auxiliar respetivas análises e conclusões.

1.4. Estrutura do Relatório

Neste relatório começa-se por fazer uma introdução, apresenta-se o CEiiA e contextualiza-se o tema do trabalho, referindo a motivação.

No segundo capítulo encontra-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, fala-se sobre termoendurecíveis, processos de moldação, do PU, DCPD e tecnologia RIM.

As metodologias usadas, os materiais, equipamentos e métodos utilizados na experimentação surgem no terceiro capítulo.

No quarto capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos por observação, simulação, digitalização e medição.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros relacionados com o tema.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Termoendurecíveis

Nos termoendurecíveis, além dos monómeros base, são usados catalisadores para se dar a reação e formar uma estrutura reticulada. Os termoendurecíveis carregados ou reforçados são excelentes materiais de engenharia, aplicados em tecnologias de ponta, indústria aeronáutica e aeroespacial. Para reforços são utilizados as fibras de vidro e de carbono, entre outros. As cargas mais utilizadas são obtidas a partir de depósitos minerais como o carbonato de cálcio, argila e o quartzo, ou outros materiais como os pós metálicos e madeiras (Pouzada e Bernardo 1983).

Características das resinas termoendurecíveis são:

- Estas são compostas por cadeias moleculares de elevado peso molecular;
- O polímero forma-se através das ligações moleculares cruzadas resultantes da reação química irreversível;
- Pode ocorrer alguma alteração de dimensões devido a contrações durante a cura do material;
- Uso de aditivos e reforços para melhorar as propriedades do material;
- Dois processos ocorrem ao mesmo tempo, enchimento e cura, o que torna difícil caracterizar o processo de moldação destes materiais (Monk 1997).

Estes polímeros possuem boa resistência, rigidez e dureza, porque as cadeias não podem rodar ou deslizar umas sobre as outras. Em contrapartida possuem fraca ductilidade, baixa tenacidade ao impacto e uma transição vítrea alta (temperatura ao qual o material transita de um comportamento frágil para dúctil) (Antunes 2007).

Têm elevada estabilidade térmica e dimensional, boa resistência à fluência e à deformação sob carga, peso muito baixo e boas propriedades de isolamento térmico e elétrico (Gaspar 2006).

No processo de cura ou solidificação das resinas líquidas termoendurecíveis, o peso molecular do polímero aumenta, tal como a sua massa volúmica e propriedades mecânicas. Durante este fenómeno ocorrem dois mecanismos: gelificação e vitrificação.

As principais transições que têm lugar durante a reação de cura são: gelificação, vitrificação, cura incompleta e degradação (Gaspar 2006).

A gelificação ou tempo de gel, Figura 6, marca a transição entre o estado líquido e fase de gel, que corresponde ao início de formação de moléculas de elevado peso molecular por reticulação,

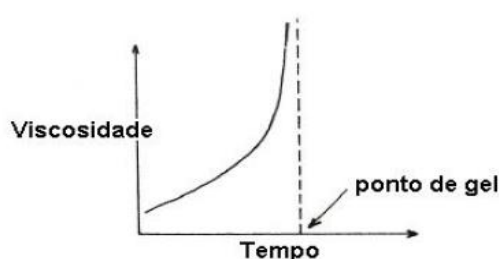


Figura 6 – Gráfico Viscosidade vs Tempo, representativo do ponto de gel (Universidade do Minho 2007).

aumento da viscosidade e menor fluência por parte da resina (Gaspar 2006; Universidade do Minho 2007).

A vitrificação corresponde à transição do estado líquido ou maleável (borracha) para o estado vítreo, que se deve ao aumento quer da densidade de reticulação, quer do peso molecular do polímero a ser curado.

A vitrificação é um processo reversível, ao contrário da gelificação. A taxa de reação pode ser acelerada por fornecimento adicional de energia através de uma operação de pós-cura.

Para melhor descrever o processo de cura dos termoendurecíveis são usados diagramas e mais recentemente modelos de simulação que descrevem o comportamento do material (Gaspar 2006).

Segue-se um exemplo de Pang e Gillham, 1990, de um diagrama TTT - Tempo - Temperatura - Transições, Figura 7, generalizado para sistemas termoendurecíveis. Este processo de cura é isotérmico e descreve as transições entre o estado líquido, o comportamento tipo borracha e um sólido vítreo. Indica ainda as temperaturas críticas (Pang e Gillham 1990).

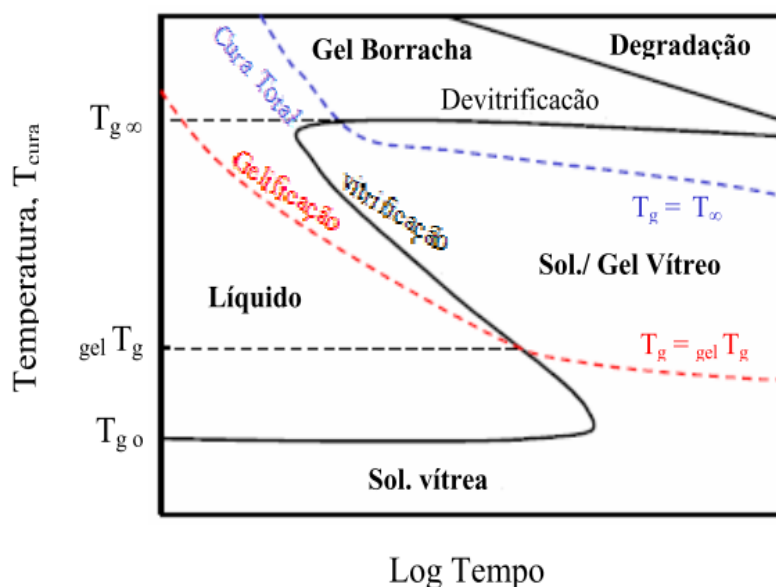


Figura 7 – Diagrama TTT – Tempo – Temperatura – Transições (Gaspar 2006).

Variáveis:

- T_{g0} - Temperatura de transição vítrea do material no estado líquido;
- $gel T_g$ - Temperatura correspondente ao instante em que a gelificação e a vitrificação são coincidentes;
- T_{∞} - Temperatura de transição vítrea do material totalmente curado.

Os diagramas CHT - Transições por aquecimento contínuo, Figura 8, indicam os tempos e temperaturas necessárias para atingir as várias fases, durante a cura térmica com aquecimento contínuo a diferentes taxas de aquecimento (DeMeuse, Gillham, e Parodi 1997).

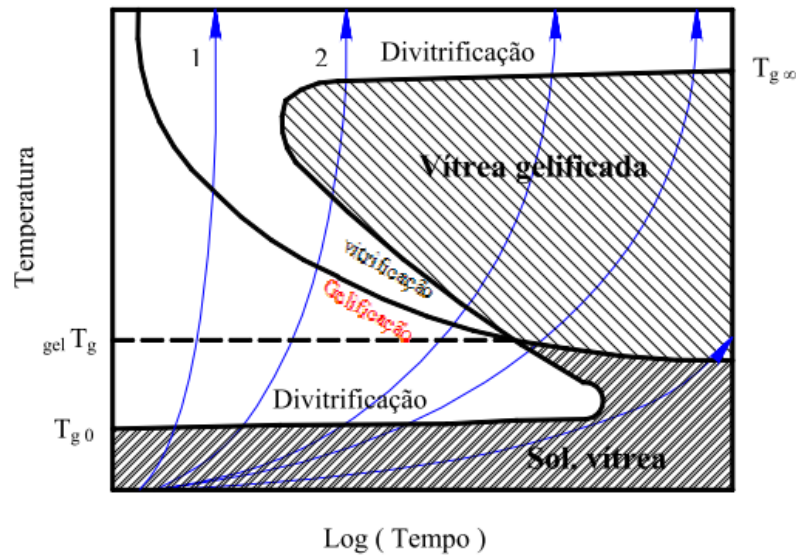


Figura 8 – Diagramas CHT - Transições por aquecimento contínuo (Gaspar 2006).

No caso dos diagramas CTT – Conversão - Temperatura -Transição, Figura 9, desenvolvidos por Adabbo, ilustram as diferentes fases e transições ocorridas no processo de cura.

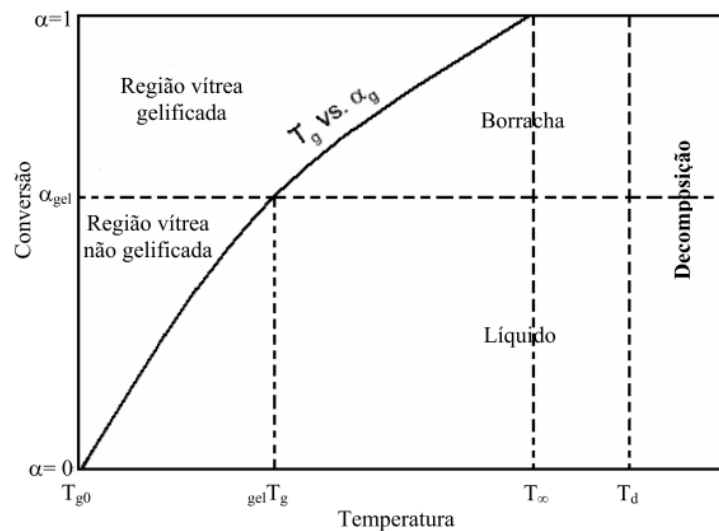


Figura 9 – Diagrama CTT – Conversão -Temperatura -Transição (Gaspar 2006).

Neste diagrama as variáveis são:

- α_g - fração de conversão para um determinado valor de temperatura de transição vítrea;
- α_{gel} - fração de conversão para $gelT_g$;
- T_d - temperatura de decomposição (Adabbo e Williams 1982).

- Tipos de Termoendurecíveis

O polímero pode apresentar-se como resina líquida ou sólida conforme a unidade de repetição e grau de polimerização. São usados aditivos para acelerar a reação de endurecimento. O endurecimento não é reversível e estes polímeros não podem ser reciclados (Antunes 2007).

Alguns termoendurecíveis, também designados por resinas, e algumas das suas propriedades são enumerada na Tabela 2:

Tabela 2 – Propriedades dos termoendurecíveis mais comuns (Antunes 2007).

Termoendurecível	Tensão de rotura [MPa]	Alongamento após rotura [%]	Modulo Elasticidade [GPa]	Densidade	Aplicações (Antunes 2007)
Fenólicas	60	2	9	1.27	adesivos, revestimentos e laminados
Amidas	67	1	11	1.5	adesivos, componentes elétricos vazados e artigos de cozinha
Poliésteres	87	3	4	1.28	laminados decorativos, matrizes em reforçados com fibra de vidro.
Epóxis	100	6	3	1.25	adesivos, componentes elétricos e em matrizes para compósitos.
Uretanos	67	6	-	1.30	fibras, revestimentos, espumas e isolamentos.
Silicones	27	0	8	1.55	adesivos, vedantes ou selantes.
Diciclopentadieno (Telene SAS)	43	5	1.8	1.03	Aplicações em transporte, como painéis externos (Toplosky e Walsh 2006; Ng 1992)

Para o processo RIM, que vai ser estudado, os termoendurecíveis mais importantes são o PU e o DCPD.

2.1.1. Poliuretano

Em 1937, uma equipa de químicos da Bayer descobriram as reações que levam à formação do poliuretano, mas só por volta de 1950 é que esta inovação teve uso comercial. Desde então os poliuretanos têm crescido rapidamente, em particular na Europa Ocidental onde teve um aumento de 16% em aplicações de diferentes tipos (Whelan e Brydson 1975).

Os poliuretanos são considerados polímeros de reação, entre poliisocianatos e polióis e catalisadores (Monk 1997). A estrutura que se obtém pode ser complexa e diversa, em função das suas ligações podem dar origem a um poliuretano termoendurecível, termoplástico como elastômero (Antunes 2007; Pouzada e Bernardo 1983).

Os poliuretanos sólidos empregam-se como espumas, revestimentos e adesivos. As espumas podem ser flexíveis ou rígidas em função do grau de reticulação, e comercializam-se com uma gama alargada de densidades. Têm boas propriedades mecânicas, resistem à degradação e são bons isoladores acústicos e térmicos. Nos revestimentos e adesivos, as estruturas vão desde as lineares simples até às estruturas reticuladas, obtendo-se diferentes durezas. A sua tenacidade e resistência à abrasão são elevadas (Pouzada e Bernardo 1983).

Para além dos principais reagentes, a formulação dos poliuretanos envolve a adição de aditivos, que servem para controlar e modificar a reação e as propriedades finais da peça. Estes aditivos podem ser catalisadores, agentes reticuladores, extensores de cadeia, pigmentos, colorantes, cargas, reforços e retardadores de chama (Silva 2008).

Em relação ao processo de cura, este fenómeno leva a um aumento crescente da dureza, e solidificação do material. Um aumento do grau de cura aumenta o módulo e a tensão dos polímeros, mas diminui a flexibilidade. Durante este processo pode ocorrer gelificação e vitrificação. Ao valor da temperatura de transição vítrea é dado o nome de ponto gel deste processo. Com o excesso de calor gerado no processo, a cura pode ser demasiado rápida, podendo levar a fratura da peça (Silva 2008).

Na Tabela 3 encontra-se a comparação de algumas propriedades do PU com o processo RIM:

Tabela 3 – Propriedades do PU RIM (Macosko 1989).

<u>RIM 2600</u>	<u>Typical</u>
Process Conditions	
Polyol Temp. (°C)	55
143 - L Temp. (°C)	23
Mold. Temp. (°C)	71
Post Cure (hr/°C)	1/121
Physical Properties	
Hardness, Shore D	58
100% Modulus (MPa)	15.9
Tensile Strength (MPa)	23.4
Ultimate Elongation (%)	235
Flex Modulus (MPa)	
-29°C	480
24°C	180
70°C	100

- Aplicações

O poliuretano é utilizado por exemplo em revestimentos, graças à sua elevada resistência química a solventes e boas propriedades mecânicas (Melchior et al. 2000).

É um material plástico que engloba uma grande variedade desde materiais sólidos a espumas. Os uretanos comercializados incluem espumas rígidas e flexíveis, borrachas, tintas, vernizes, adesivos e revestimentos (Monk 1997).

2.1.2. Diciclopentadieno (DCPD)

Enquanto substância o diciclopentadieno (DCPD) é um composto químico, com o número de registo, *CAS number*, 77-73-6, cuja molécula tem a fórmula química $C_{10}H_{12}$, Figura 10, e a massa molecular é 132.2 g/mol. A densidade é igual a 0.98 g/cm³. À temperatura ambiente é um cristal branco sólido com odor. O seu ponto de fusão é cerca dos 32 °C, o ponto de ebulição é perto dos 170 °C e o ponto de inflamação é aos 32 °C (Merck Index).

A 20 °C a pressão de vapor é de 180 Pa e a solubilidade em água a 25°C é de 0,002 g / 100 ml (IPCS 2006). É uma substância inflamável. A sua autoignição dá-se aos 500 °C e o limite de exposição é de 5 ppm (INCHEM ORG 2005; IPCS 2006).

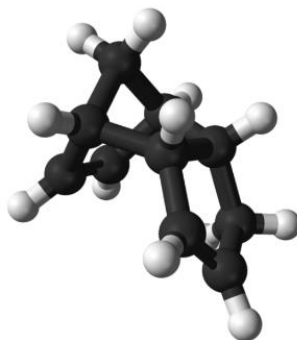


Figura 10 – Estrutura da Molécula de DCPD (Merck Index).

Em 1993, o Japão, tinha a capacidade de produzir um volume de 33.000 toneladas de DCPD, com um grau de pureza de 95%.

Em termos de impacto ambiental esta substância química é moderadamente tóxica para os organismos aquáticos, não é biodegradável e está sujeita a foto degradação.

Em termos de saúde pública, esta composição é moderadamente tóxica em doses repetidas, irritante para a pele e olhos. O Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (SIDS), relativamente à toxicidade aguda revela valores de (Inchem):

Oral / Rato: DL50 (dose letal): 590 mg / kg;

Inalação / Rato: LC50 (concentração letal): 1.000 ppm / 4 hr;

Dérmica / Coelho: DL50: 5.080 mg / kg.

Este monómero encontra-se nas refinarias petroquímicas. Existem em duas formas de isómeros estereoquímicos, na forma endo e exo, Figura 11 (Ng 1992).

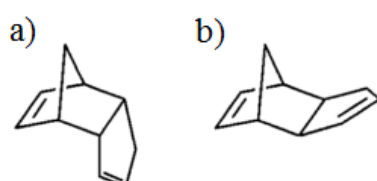


Figura 11 – Isómero endo (a) e exo (b) de DCPD (Rule 2005).

A polimerização do isômero exo é mais rápida, como se observa na Figura 12, este isômero apresenta boas propriedades de autorreparação, em aplicações criogénicas (Rule 2005).

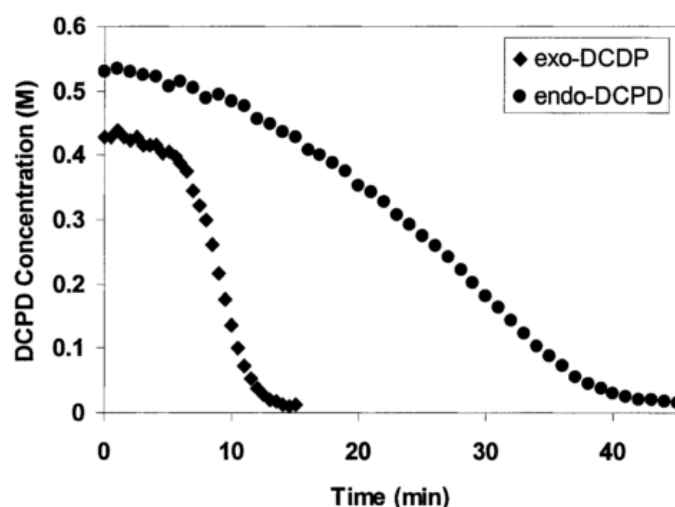


Figura 12 – Cinética de polimerização dos isômeros endo e exo de DCPD (Rule 2005).

No entanto, a forma endo que por reação de decomposição térmica facilmente se decompõe em Ciclopentadieno - C_5H_6 , é a mais comercializada (Ng 1992).

Mais algumas propriedades físicas do DCPD na Tabela 4:

Tabela 4 – Propriedades físicas do DCPD (Ng 1992).

Physical properties	Dicyclopentadiene ^a
heat of combustion, kJ/mol ^d	1378.4
heat of vaporization, kJ/mol ^d	9.2
heat of cracking, kJ/mol ^d	24.6
heat of fusion, kJ/mol ^d	0.5
specific heat, kJ/(kg·K) ^d	0.411
spontaneous ignition temperature, °C	510
in oxygen	680
in air	
dielectric constant at 40°C	

a Endo isomer.

b To convert kPa to mm Hg, multiple by 7.5.

c Depolymerizes at boiling point to form two molecules of cyclopentadiene.

d To convert J to cal, divide by 4.184.

O DCPD é utilizado no fabrico de borrachas EPDM - etileno/propileno/dieno, por termopolimerização com catalizadores Ziegler-Natta à base de vanádio. Essa adição à cadeia polimérica dá-se através do anel norborneno (Simanke 2001).

A principal utilização deste material é em resinas, em particular nas resinas de poliéster insaturadas. Também é utilizado em adesivos e tintas (Merck Index).

- Fornecedores

Existem diversos fornecedores de DCPD, como por exemplo a empresa DOW (DOW), que identifica a utilização desta substância na fabricação de outras substâncias industriais, na produção e processamento de polímeros. A NOVA Chemicals é uma concorrente também produtora deste material (NovaChem 2008

).

2.1.3. Polidiciclopentadieno

O polidiciclopentadieno (PDCPD) apareceu em 1980. É um polímero termoendurecível que resulta da combinação por reação química de dois monómeros de diciclopentadieno (DCPD) (Toplosky e Walsh 2006). O DCPD é um comonomero do tipo ciclodieno. O copolímero PDCPD é influenciado pelo teor dos comonomeros em termo de estrutura (Simanke 2001).

Este material é usualmente transformado em produtos finais através de moldação por injeção com reação - RIM, uma técnica que permite misturar os dois monómeros e introduzi-los num molde sob baixa pressão. Estuda-se ainda a possibilidade de usar outros processos para processar o DCPD, tal como, moldação de transferência de resina (RTM) e rotação (Toplosky e Walsh 2006).

2.2. Processos de Fabrico

A reatividade do sistema termoendurecível precisa de ser cuidadosamente controlada, de modo que, durante a operação de mistura e armazenamento não ocorra cura prematura. O desejável é uma cura rápida a temperaturas entre 160-220 °C. Durante a operação de cura, a viscosidade do material líquido deve ser suficientemente baixa para permitir que o material flua de forma suave e homogênea antes do início de reticulação, mas deve ser suficientemente alta para evitar que o revestimento escorra pelas arestas e pingue no substrato. Finalmente, pelo facto dos pós serem muito finos, estes são suscetíveis de absorverem contaminantes atmosféricos. A escolha dos constituintes é, portanto, limitada particularmente àqueles que são pouco sensíveis à humidade atmosférica (Macosko 1989).

Os três principais processos de moldação de termoendurecíveis por: injeção, compressão e transferência, estão bastantes estudados e comparados, pois já se conhecem possíveis defeitos, causas e soluções, e condições de processamento de acordo com os materiais utilizados. Essa informação encontra-se disponível no Anexo A. Dado que o processo RIM é o processo em estudo, a sua informação vai ser aprofundada.

Segue um esquema dos processos de moldação de termoendurecíveis, Figura 13, entre os quais os processos com e sem reação (Pouzada e Bernardo 1983; "CES EduPack 2014"):

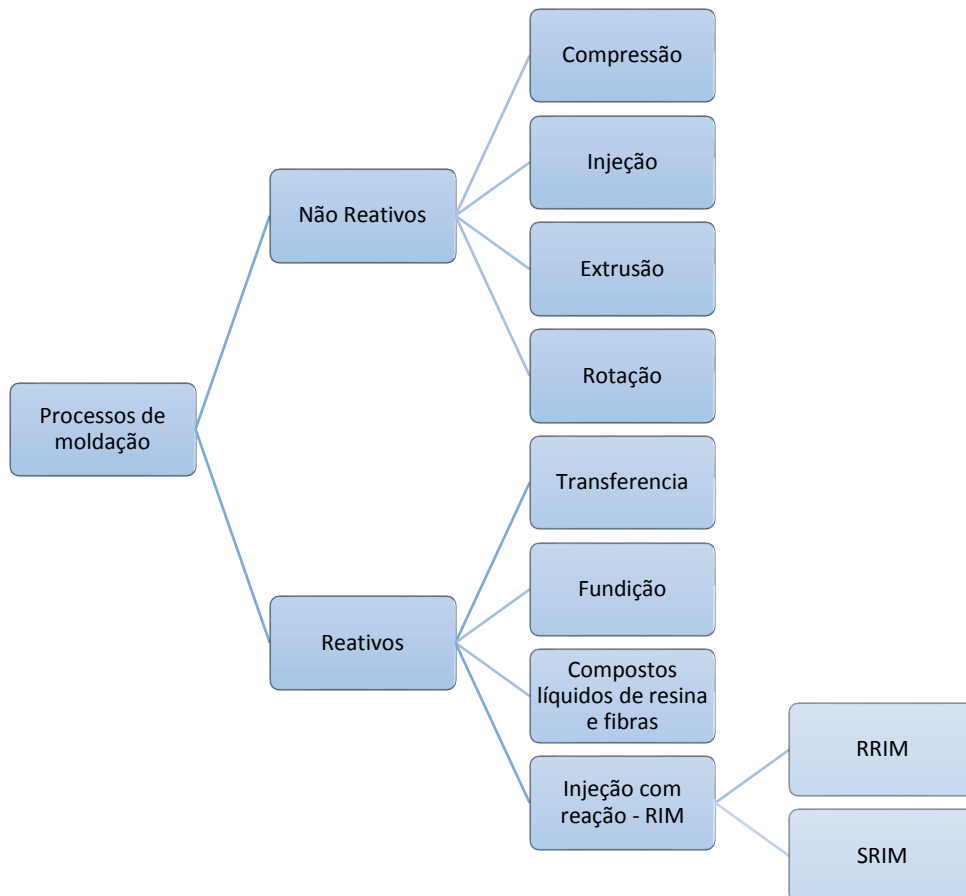


Figura 13 – Esquema dos Processo de moldação.

2.2.1. Processos não reativos

- Moldação por compressão

Primeiro processo usado na indústria de plásticos, para produzir peças complexas, em grande quantidade e custos baixos, Figura 14. O processo consiste em aquecer o molde e aplicar pressão de fecho a uma quantidade de material em forma de pó ou bolacha. Por ação do calor ou pressão, o material flui e preenche o molde. Segue o processo de cura, durante o tempo adequado em função das temperaturas do molde e do tipo de material. Abre-se o molde e retira-se a peça(Pouzada e Bernardo 1983).

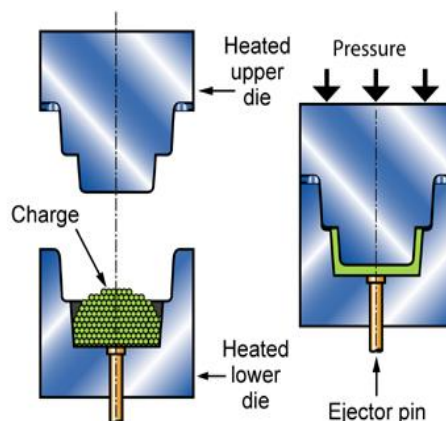


Figura 14 – Esquema do Processo de moldação por compressão ("CES EduPack 2014").

- **Moldação por Injeção**

Nos anos 60 demonstrou-se que as máquinas de parafuso, semelhantes às usadas pelos termoplásticos, também podiam injetar materiais termoendurecíveis. No processo de injeção de termoendurecíveis, IM (*Injection Molding*), Figura 15, o sistema de aquecimento do cilindro é ligeiramente diferente, é feito por água quente ou óleo por volta dos 100°C, não sendo aquecido o bico de injeção. O parafuso e a relação de compressão são menores. Os moldes são aquecidos eletricamente para manter as temperaturas do molde durante o processo de cura (Pouzada e Bernardo 1983).

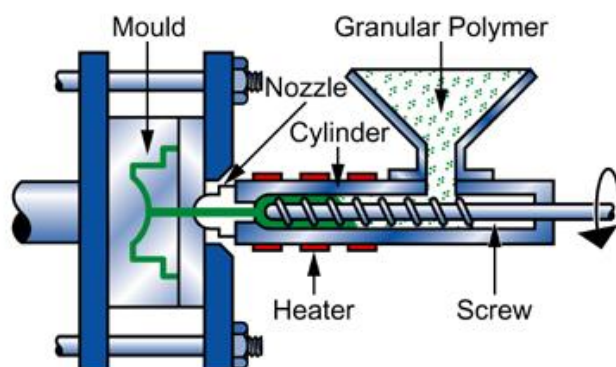


Figura 15 – Esquema do Processo Moldação por Injeção ("CES EduPack 2014").

- **Moldação por extrusão**

Na extrusão de polímeros, *polymer extrusion*, Figura 16, o granulado é processado por um parafuso rotativo através de uma câmara de aquecimento, em que o fundido é forçado a passar no orifício matriz. O extrudido é arrefecido à medida que sai da matriz, e estirado para uma secção transversal menor. Esta técnica está restringida a seções prismáticas, uniformes de secção constante. Este processo é usado em termoplásticos, mas com algumas alterações pode ser usado em termoendurecíveis e elastómeros ("CES EduPack 2014").

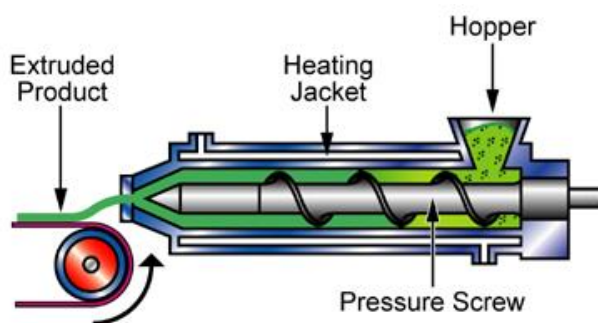


Figura 16 – Esquema do Processo de moldação por extrusão ("CES EduPack 2014").

- Moldação por rotação

Neste processo, Figura 17, o granulado é introduzido no molde. O molde é aquecido para derreter o polímero e em simultâneo o molde é rodado. O molde é então arrefecido enquanto continua a ser rodado e o componente removido. Este processo é capaz de produzir peças grandes, mas a espessura constante é limitada pela condutividade térmica do polímero. Utilizado em termoplásticos, mas também com alguns termoendurecíveis. O poliuretano é o mais comum ("CES EduPack 2014").

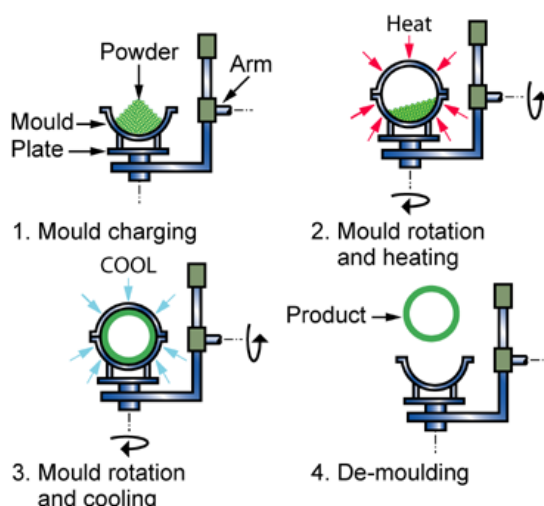


Figura 17 – Esquema do Processo de moldação por rotação, *rotational molding* ("CES EduPack 2014").

2.2.2. Processos reativos

Termoendurecíveis que necessitem de um processo reativo para a sua polimerização, podem ser moldados por: transferência de resina – RTM (*resin tranfer molding*), RIM e mais algumas variantes do RIM, RRIM (*Reiforced reaction injection molding*) e SRIM (*Structural reaction injection molding*), Figura 18. Estes distinguem-se da injeção convencional de termoendurecíveis, porque os materiais são injetados para o molde a relativamente baixa viscosidade, onde a polimerização tem lugar (Monk 1997).

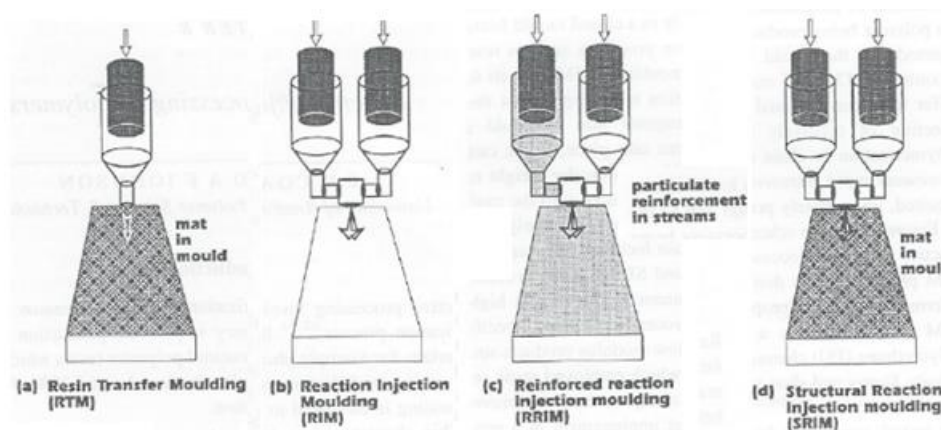


Figura 18 – Técnicas de injeção moldação reativa, a) RTM, b) RIM, c) RRIM e d) SRIM (Monk 1997).

- .Moldação por transferência

Na moldação por transferência – RTM (*resin transfer molding*), Figura 19, o material é fundido numa câmara e depois transferido para dentro do molde aquecido. Esta solução permite o uso de insertos e não é necessário aplicar tanta força, de forma que os insertos não são danificados. Neste processo são necessários canais de alimentação (Pouzada e Bernardo 1983). Usado também em compósitos à base de termoendurecíveis ("CES EduPack 2014").

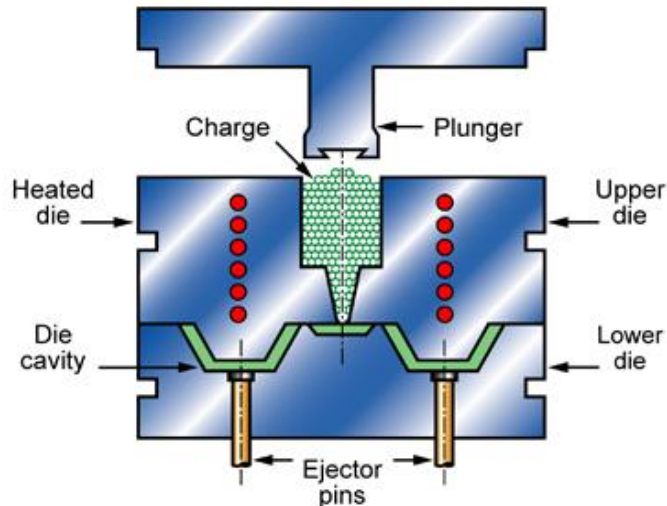


Figura 19 – Esquema do Processo de moldação por compressão ("CES EduPack 2014").

- Moldação por fundição

O processo de moldação por fundição de polímeros, Figura 20, *polymer casting*, ocorre a pressão atmosférica. O material funde e polimeriza. Os moldes ou ferramentas podem ser em metal epóxi ou moldes flexíveis ("CES EduPack 2014").

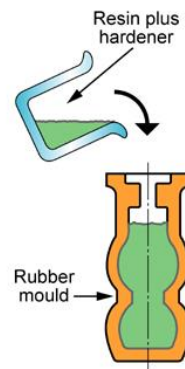


Figura 20 – Esquema do Processo de moldação por fundição("CES EduPack 2014").

- Moldação de compostos líquidos de resina e fibras

Nos anos 40 com a indústria aeronáutica, houve o uso crescente da aplicação de fibras de reforço a alguns plásticos termoendurecíveis. A moldação dos plásticos reforçados com fibras - PRF pode ser manualmente ou por compressão a quente de tapetes pré-impregnados.

Existem outros métodos, tais como: moldação por contacto, por projeção simultânea ou enrolamento filamentar (Pouzada e Bernardo 1983).

- Moldação por Injeção com reação

O processo de moldação por injeção com reação – RIM (*Reaction Injection Molding*), difere do processo convencional de injeção, já que neste está envolvida uma reação química dos componentes que dão origem ao composto final.

O RIM de poliuretano foi inventado na década de 60 na Alemanha, pela Bayer AG, na Figura 21 apresenta-se o esquema do processo (Bayer).

O RIM é um processo cíclico para produção rápida de peças poliméricas complexas (Ng 1992). A sua primeira aplicação foi em 1966 na produção de peças rígidas ou flexíveis para a indústria automóvel (Pouzada e Bernardo 1983).

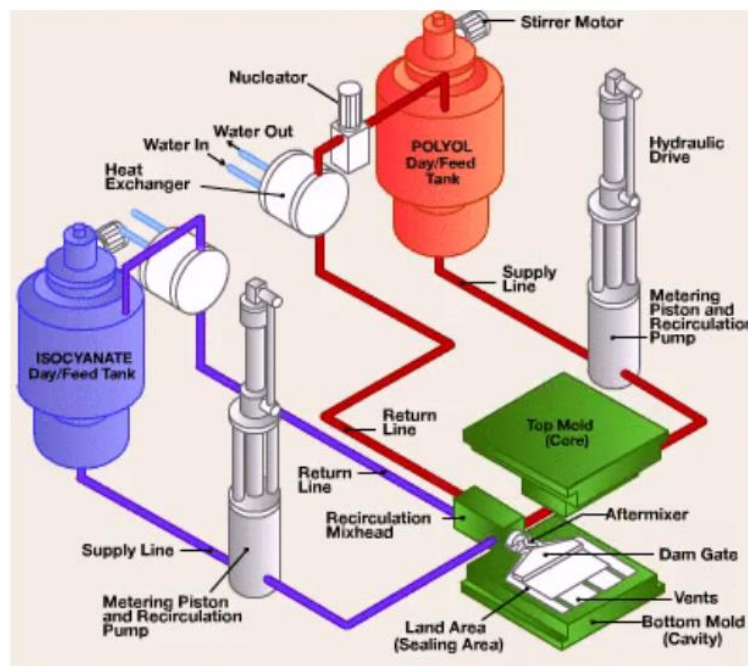


Figura 21 – Esquema do Processo RIM de PU (Bayer).

No RIM é necessária uma mistura rápida e intensa de reagentes de baixo peso molecular, no momento anterior à entrada no molde. Este processo foi especialmente desenvolvido para a química do poliuretano como sendo um processo de baixa pressão e cujos reagentes têm baixa viscosidade. (Monk 1997) (Pouzada e Bernardo 1983).

Os equipamentos têm custos menores, quando comparados com as máquinas de injeção, isto porque as pressões envolvidas são menores, rondam os 0.35 e os 0.7 MPa. É um processo que requer pouca energia e relativamente baixos custos, o que leva à expansão desta técnica a outros materiais com a possibilidade de usar reforços para melhorarem as suas propriedades mecânicas (Pouzada e Bernardo 1983) (Monk 1997).

A taxa de fluído dos dois reagentes é controlada de forma a promover um correto rácio estequiométrico para completar a polimerização. Os fluxos dos dois monómeros termoendurecíveis são forçados a misturarem-se a alta velocidade, na câmara de mistura. De seguida, a mistura de reação flui para o molde, sofrendo uma rápida polimerização até ser atingido um módulo elevado, o que permite desmoldar sem deformações significativas (Ng 1992) (Bayer). Segue-se um esquema das alterações reológicas que ocorrem durante um ciclo de RIM, Figura 22 (Macosko 1989):

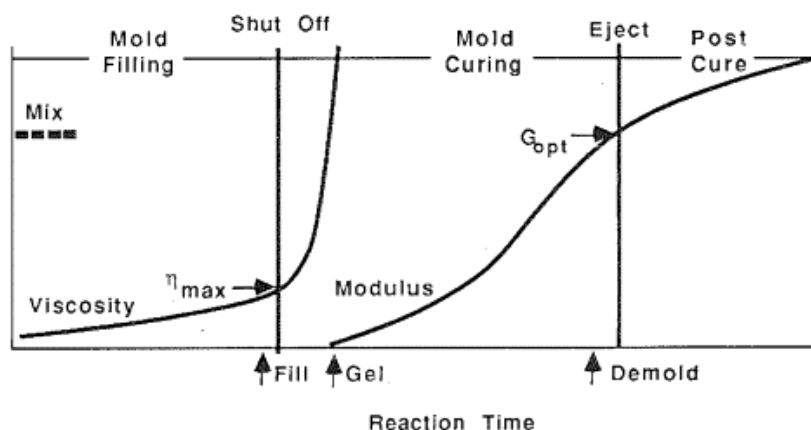


Figura 22 – Alterações reológicas durante o ciclo RIM (Macosko 1989).

Inicialmente a viscosidade é baixa para permitir o fácil enchimento do molde, com a reação dos monómeros a viscosidade começa a aumentar rapidamente. O módulo vai aumentando mais lentamente, durante o processo de cura. Este processo continua após a extração da peça (Macosko 1989).

O processo de mistura (*impingement mixing*), realiza-se numa cabeça de mistura (*mixhead*), a pressões que rondam os 100 bar, Figura 23, constituída por uma câmara de pequenas dimensões (geralmente cilíndrica), e por dois injetores que são colocados de maneira a que os jatos de reagentes sejam atirados um contra o outro. Uma vez que os jatos entram a grande velocidade na câmara e colidem, são sujeitos a uma desaceleração muito rápida, já que é realizada num espaço muito pequeno, o que provoca uma grande instabilidade para o escoamento que promove os mecanismos de mistura (Gouveia 2009).

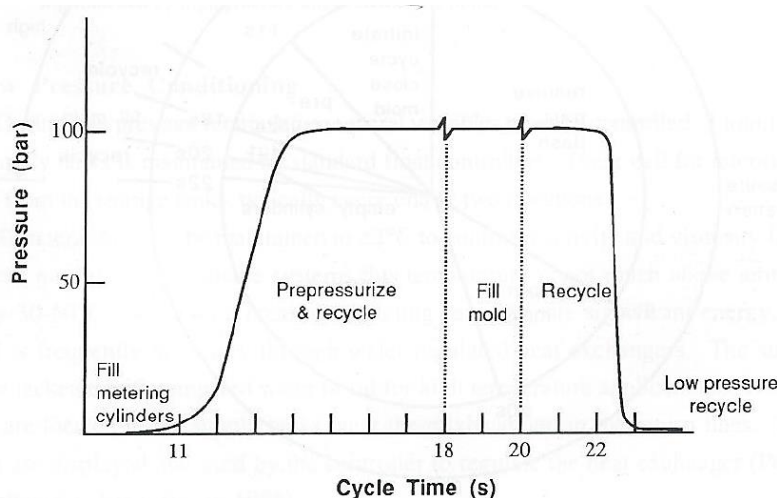


Figura 23 – Pressão versus tempos, durante um ciclo de injeção, na unidade de mistura (Macosko 1989).

Um número de Reynolds (Re) elevado indica maior turbulência no escoamento, sendo necessário garantir um valor mínimo de 120, no caso do PU RIM, como demonstrado experimentalmente por Santos, 2003, (Santos 2003; Santos, Teixeira, e Lopes 2005). Acima do Reynolds crítico o escoamento é caótico e caracterizado pela formação de vórtices abaixo da entrada dos jatos. Estes vórtices são responsáveis pela homogeneização da mistura (Santos 2003).

Ainda durante a injeção, os materiais reagem quimicamente, inicia-se a cura do material e formação das peças plásticas (Macosko 1989).

Variáveis do Processo

Algumas das variáveis mais importantes do processo RIM podem-se observar no esquema da Figura 24. Entre elas encontram-se questões estáticas e dinâmicas das máquinas, os reagentes envolvidos, as variáveis do processo e condições envolventes que influenciam a qualidade e produtividade do processo (Monk 1997).

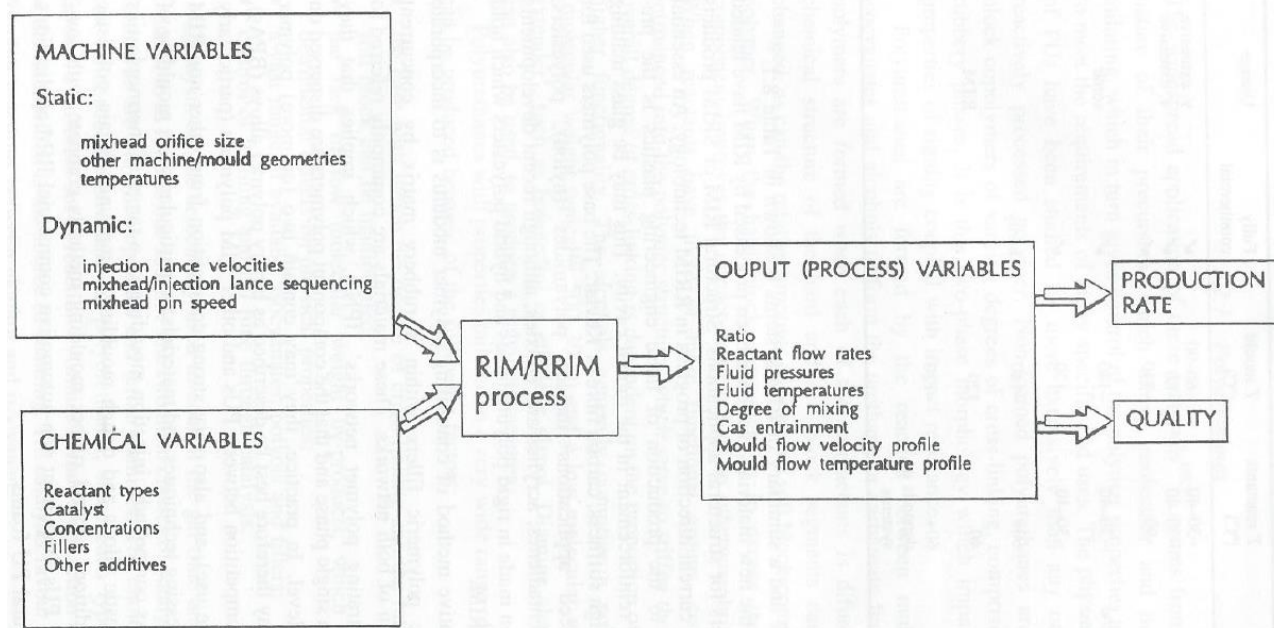


Figura 24 – Variáveis do processo RIM (Monk 1997).

Tendo em conta a complexidade da fase de injeção e cura devido às condições de escoamento, geometria da cabeça de mistura, energia cinética dos jatos, cinética das reações químicas, viscosidades dos fluidos, efeitos de tensões superficiais, torna-se difícil estudar, compreender e simular o processo de mistura.

Segue-se um diagrama de moldabilidade de um sistema RIM, Figura 25, onde se encontram conjugados uma boa mistura e o completo enchimento do molde, sem ar aprisionado nem degradação (Macosko 1989).

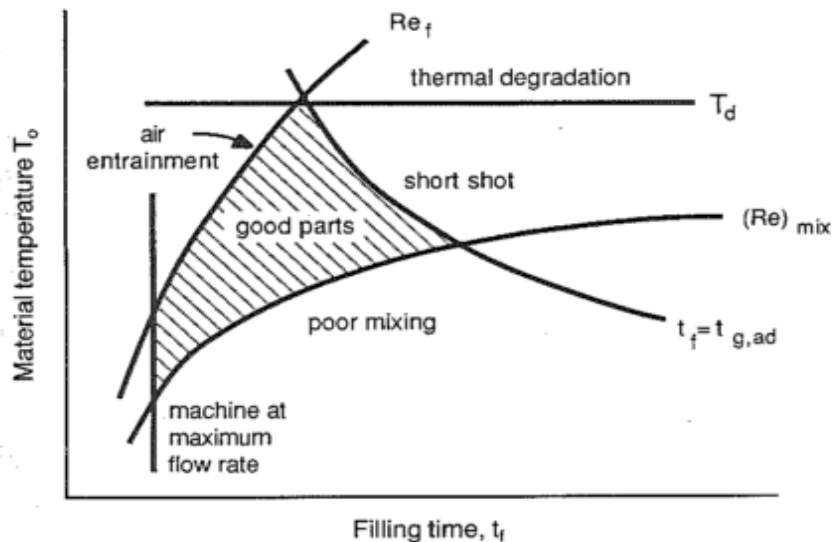


Figura 25 – Diagrama de moldabilidade para atingir uma boa mistura, completo enchimento do molde, sem ar aprisionado ou degradação (Macosko 1989).

As variantes do processo RIM, R-RIM (*Reinforced-RIM*) e S-RIM (*Structural-RIM*) usam fibras para aplicações estruturais que necessitem de maior rigidez (Pouzada e Bernardo 1983).

Parâmetros típicos no RIM (Macosko 1989; Bayer):

- Viscosidade baixa (0,1 - 1Pa.s);
- Temperaturas de processamento baixas (30 - 40 ° C);
- Temperaturas do molde (30 -70 ° C);
- Pressões de injeção (3-10 bar);
- Pressões de mistura (100 – 200 bar);
- Tempos para desmoldar (30-60 segundo).

Materiais processados pelo RIM

Embora este processo tenha sido desenvolvido à volta da química do poliuretano, começaram-se a utilizar outros sistemas químicos com o RIM, tais como: poliureia, poliamidas, nylon, epóxi, poliéster insaturado e DCPD (Rosato, Rosato, e Rosato 2004; Belofsky 1995; Vervacke 2008; Ng 1992), Tabela 5.

Tabela 5 – Polímeros utilizados no RIM (Monk 1997).

System	T reactants (°C)	T mould (°C)
Polyurethane	~30–40	~60–90
Polyurea	~30–40	~60
Polyamide	~90	~140
['Nyrin']		
Dicyclopentadiene	~30–40	~140
['Metton', 'Telene']		
Acrylamates	~30–40	~120
['Arimax']		
Epoxy	60+	~140
['Epikote']		
Acrylics	40	120
['Modar']		
Polyester	60+	~120
Binary polymer alloys	depends on systems	

Os esquemas químicos usados no RIM são classificados de acordo com o seu tipo de ativação, por calor ou mistura de colisão. No caso do sistema de ativação por mistura, a polimerização pode ser provocada pela elevada velocidade de mistura, o que acontece no caso do PU, ureia, nylon e DCPD. A polimerização iniciada pelo calor dá-se no epóxi e poliéster insaturado e resulta da aplicação da elevada temperatura nas paredes do molde (Ng 1992).

O processo de polimerização pode ser dividido de acordo com a estrutura dos mecanismos envolvidos: reticulação ou separação de fase. O DCPD resulta de uma reticulação química (Ng 1992).

Sistema de enchimento

Se por um lado as baixas viscosidades envolvidas na injeção são uma vantagem pois permitem o enchimento de peças grandes e combatem a rapidez da reação, por outro lado é uma desvantagem porque leva a elevadas velocidades de enchimento, que fazem com que o ar fique aprisionado dentro do molde. Para tal torna-se necessário compreender como os moldes enchem, e deve-se começar por estudar a gate (ataque à peça) e o regime de fluxo envolvido.

Pode-se observar na Figura 26 que, no caso de uma gate com forma *fan gate*, inicialmente o fluxo tem um comportamento radial e começa a ficar retilíneo à medida que a frente do fluxo contacta com as paredes do molde.

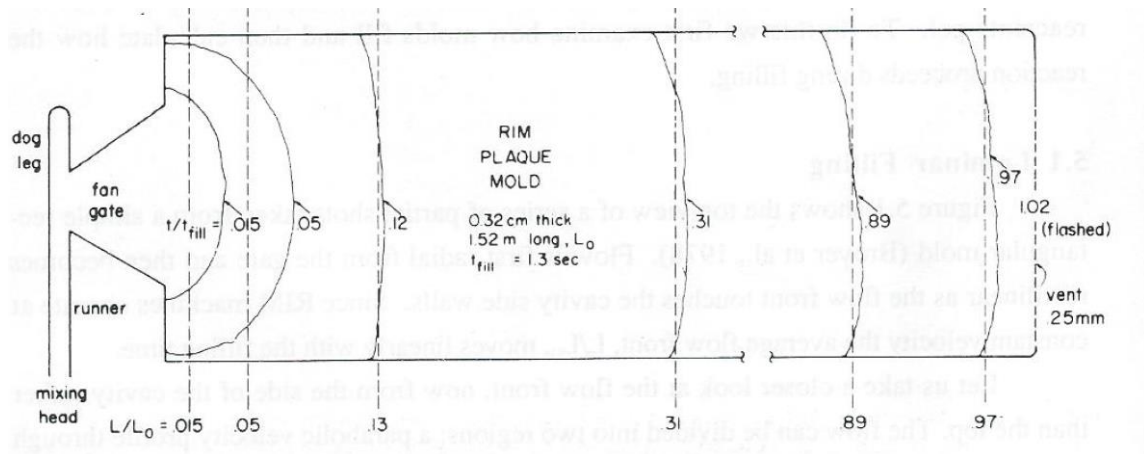


Figura 26 – Enchimento de uma placa, comportamento do fluxo a uma velocidade de 1.25m/s e uma viscosidade de 900 MPa.s (Macosko 1989).

Uma vez que a velocidade de injeção é constante há uma relação entre o tempo de enchimento e a frente do fluxo. Seguem-se configurações típicas de *gates*, Figura 27 (Macosko 1989):

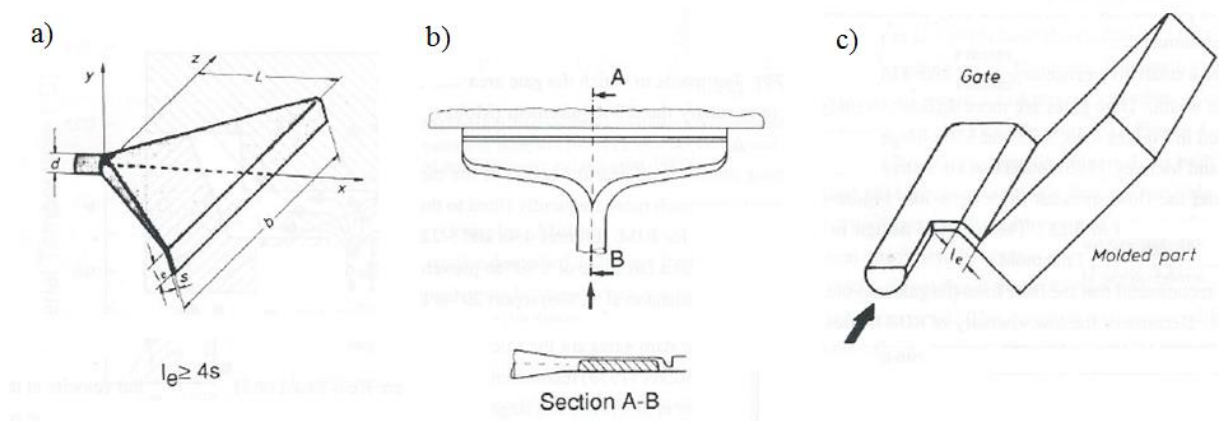


Figura 27 – Três tipos de configurações de gates: a) *Fan gate*, b) *Dam gate* e c) *Rod ou Sprue gate* (Macosko 1989).

Alguns aspetos específicos do PU RIM

No caso do PU RIM, dependendo do conjunto de reagentes utilizados, polioli e isocianatos, as peças de poliuretano, podem ser espumas ou sólidos, mais ou menos rígidas ou flexíveis. As densidades podem variar entre os 0,2 e 1,6 (Bayer). O sistema PU RIM tem uma grande variedade de produtos com propriedades mecânicas finais diversas, graças às diferentes combinações possíveis (Silva 2008).

Este processo envolve baixas temperaturas de processamento, normalmente entre os 35°C a 65°C e baixas pressões, que variam entre 2 e 7 bar, o que o torna um processo muito económico. Assim os moldes utilizados para injetar peças em RIM, podem ser de baixa rigidez estrutural, sendo mais rápida a sua produção (Silva 2008).

Marta Silva, 2008, apresenta as regras de construção de moldes para PU RIM, que se seguem (Silva 2008):

- os poliuretanos para RIM podem ir até peças de 45 kg;

- o tamanho mínimo permitido numa máquina RIM é de aproximadamente 0,225 kg;
- as tolerâncias devem ser introduzidas no molde de acordo com a contração da peça injetada;
- usar misturadores com diferentes geometrias, que promovam uma boa mistura;
- a gate deve estar adjacente à cabeça de mistura, com o mesmo diâmetro, mas com uma ligeira inclinação nas paredes do canal, de forma a evitar a formação de bolhas.

Em relação à gate faz ainda as seguintes considerações sobre a sua posição:

- deve estar colocado no local mais baixo do molde;
- junto da linha de partição, num ponto que minimize fluxos muito longos;
- num ponto menos visível da peça;
- na presença de *ribs* (nervuras) a gate deve estar paralelo a estas;
- junto dos pormenores mais complexos da peça.

Normalmente a velocidade máxima do fluxo não excede os 7 m/s, mas se não houver nenhuma esquina viva ou obstrução a velocidade de fluxo pode atingir os 30,5 m/s.

A linha de partição deve ser posicionada no ponto mais alto da peça, de forma a melhorar o ataque e o sistema de escape de gases.

O sistema de escape de gases deve ser colocado no ponto mais alto da peça, deve ter um comprimento de 25 mm, profundidade de 0,25 mm e espaçados de 76 mm a 101mm.

É necessário usar sistema de refrigeração, para manter a temperatura do molde constante, tendo em contas a libertação de calor resultante das reação exotérmicas do processo de cura (Silva 2008).

A Bayer fornece ainda outras possibilidades para o RIM de PU, como PU com reforço de fibras – RRIM (*Reinforced RIM*), que permitem melhorar a rigidez e resistência ao impacto ou pela pré forma moldada no molde, Compósito de PU – SRIM (*Structural RIM*), gamas observadas na Figura 28 (Bayer).

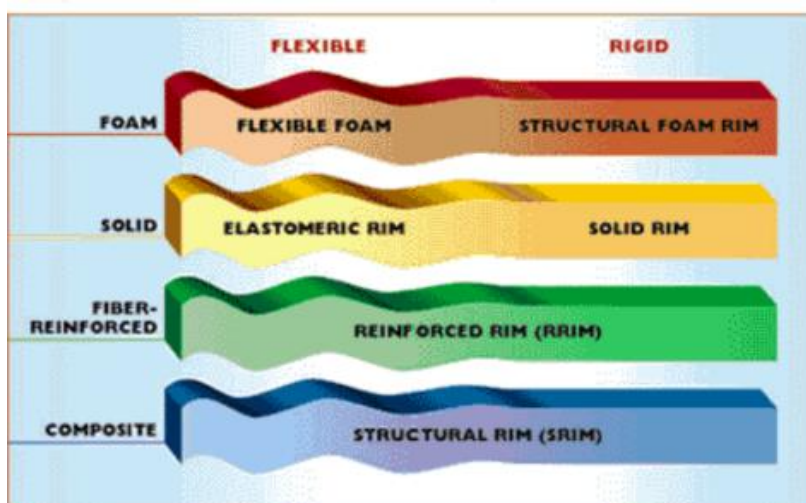


Figura 28 – Tipos de PU fornecidos pela Bayer, com diferentes propriedades e direcionados para várias aplicações (Bayer).

Alguns aspetos específicos do DCPD RIM

A fórmula do DCPD RIM, consiste em dois componente A e B. O componente A contém monómero de DCPD, co iniciador, ativador e outros aditivos. O componente B é composto também pelo monómero de DCPD, iniciador e outros aditivos (tais como agentes de

enchimento) (Ng 1992). Antes da injeção, os dois monómeros de DCPD estão armazenados separadamente em tanques à temperaturas entre os 20-30 °C (Vervacke 2008) (Yang, Lafontaine, e Mortaigne 1997). Esta mistura dá-se na cabeça de mistura (*mix head*) a alta pressão (80-120 bar) e dá origem ao PDCPD – polidiciclopentadieno (Vervacke 2008) (Yang, Lafontaine, e Mortaigne 1997; Rule e Moore 2002). Os reagentes são finalmente injetados num molde fechado, cujas temperaturas típicas são 60 °C e 80 °C para cada cavidade, onde se dá a polimerização (cura), que tem lugar sob pressão e temperatura controladas (Vervacke 2008) (Yang, Lafontaine, e Mortaigne 1997).

A polimerização do DCPD durante o processo RIM baseia-se numa reação química denominada de ROMP (*Ring-opening metathesis polymerization*) a qual pode ocorrer em duas fases: a primeira reação baseia-se na abertura dos anéis de norborneno e a segunda reação no envolvimento de ambos os anéis de norborneno e ciclopenteno (Rule e Moore 2002).

A metátese de polimerização começa quando o “iniciador” e o “co iniciador” se misturam. A polimerização é muito rápida, mas com a adição de retardadores mais facilmente se controla o tempo de cura (Ng 1992). Um dos catalisadores usados é o catalisador de Grubbs, à base de ruténio, Figura 29 (Kessler e White 2002).

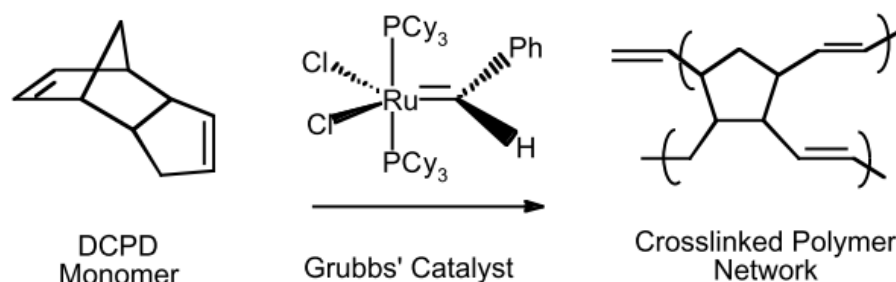


Figura 29 – ROMP do DCPD com catalisador de Grubbs (Kessler e White 2002).

A razão dos componentes na mistura deve ser monitorizada e ajustada, a fim de controlar a sua viscosidade e o impacto nas propriedades da peça final, cuja cor pode variar de acordo com os catalisadores utilizados e o tempo de cura (Vervacke 2008) (Yang, Lafontaine, e Mortaigne 1997).

Segundo Constable, 2004, o ciclo de produção global leva entre 4 a 6 minutos, podendo o polímero ser retirado do molde e se necessário submetido a um processo de pós - cura (Constable, Lesser, e Coughlin 2004).

Os estudos que têm vindo a ser feitos sobre o DCPD RIM, representam a necessidade de esquematizar o que se passa no processo. Para tal é necessário elaborar diagramas de moldabilidade, para as fases de enchimento e cura, tempos de ciclo e energias consumidas. É ainda necessário estudar os catalisadores, o rácio dos monómeros, etc, (Ng 1992).

Assim, para compreender a cinética da polimerização em massa, (*bulk polymerization kinetics*) é preciso conhecer o aumento da viscosidade que dita a pressão e a velocidade de enchimento, a conversão durante o processo de cura, que condiciona o perfil de temperaturas, o tempo de desmoldar e as propriedades físicas finais da peça (Castro 1980).

A mistura no RIM é crítica, já que o contacto insuficiente de reagentes resulta na não reação e fracas propriedades finais do material (Ng 1992).

Hendra, 1992, estudou uma resina de DCPD (resina Telene, da empresa fornecedora Telene SAS), que oferecia características adequadas ao processo RIM, tais como:

- tempos de gel, entre 1 segundo e os 30 minutos à temperatura ambiente;
- componentes com baixa viscosidade $\sim 0.3 \text{ Pa.s}$ à temperatura ambiente;
- baseado em hidrocarbonato, tem pouca tendência a aderir ao metal, não sendo necessário desmoldante, para peças simples;
- menos sensível à variação dos rácios da mistura, a tolerância é de $\pm 10\%$ de variação entre os componente (Ng 1992).

No Anexo B encontram-se mais alguns estudos realizados por Hendra sobre as mudanças reológicas e cinéticas durante a polimerização e de Kessler e White que testaram vários modelos de cinética fenomenológica. No mesmo anexo também aparece informação de Constable, Lesser e Coughlin sobre o ROMP de DCPD. Toplosky e Walsh, caracterizam 5 tipos de Poli-DCPD, em termos de propriedades mecânicas e térmicas a temperaturas criogénicas, cujos resultados se encontram no Anexo B. Por último, resumem-se os resultados de Zhen Yao, Li-wu Zhou e outros autores, sobre as influências da composição do monómero, concentração do catalisador de Grubbs e temperatura de reação, no tempo de gel e na conversão do monómero, no mesmo anexo.

Tipologia de peças

Normalmente a escolha do RIM incide sobre peças de grande dimensão, com diferentes espessuras (3 a 30 mm). O RIM permite usar reforços e é uma boa opção para encapsulamentos (em circuitos elétricos). Tem boa reprodução de superfícies, bons acabamentos e boas propriedades físicas e mecânicas. É ainda um processo económico a nível de ferramentas e rápido na obtenção de peças (Silva 2008).

O DCPD RIM começou por ser usado em tratores e componente exteriores de veículos agrícolas. Devido à sua baixa densidade foi também aplicado a painéis exteriores de outros veículos. O material garante uma boa qualidade superficial, leveza e potencial económico para produção em série a partir de 500 unidades.

No entanto, as suas propriedades mecânicas, quando comparadas com peças metálicas são baixas, o que faz com que seja necessário aplicar subestruturas ou reforços metálicos, para evitar deformações indesejáveis, provocadas por cargas exteriores ou expansão térmica derivada às elevadas temperaturas ambientais.

Por forma a aumentar a resistência dos painéis, mantendo a redução de peso ponderou-se o uso de uma solução híbrida continuando a recorrer ao DCPD e à tecnologia RIM, que tem baixo investimento de capital em ferramentas e montagem, como exposto anteriormente, para séries a partir de 500 até 25 mil unidades por ano (Teixeira e Ribeiro 2010) (Camboa et al. 2012).

Um estudo de *benchmarking* da Lotus (Lotus Engineering Inc.), completado por Camboa 2012 (Camboa et al. 2012), comparou materiais e geometrias usadas em diferentes veículos, em particular a porta do Buddy em DCPD, comparada com as portas dos seguintes carros, Tabela 6:

Tabela 6 – Carros e respetivos materiais das portas laterais, usadas no estudo de Camboa (Camboa et al. 2012), com base no estudo da Lotus (Lotus Engineering Inc.).

Carro	Material da porta lateral
Toyota Venza	Aço
Audi A2	Alumínio
Mercedes S Class	Alumínio
Peugeot 206	Aço
Volkswagen Golf	Aço
Suzuki Ignis	Aço
Ford Focus	Aço
Fiat Panda	Aço
Aixam 400	Polímero e chapa de aço
Ebil Norge Buddy 09	DCPD e chapa de aço

Verifica-se que os materiais utilizados na indústria automóvel nas portas são aço, alumínio, polímeros e DCPD. Quando comparadas as relações entre peso e área das portas, a porta de DCPD e aço do Ebil Norge Buddy09 é a terceira porta mais leve, dos 10 carros presentes no estudo (Lotus Engineering Inc.). Para se compreender melhor a relação entre as áreas e os pesos das portas, fez-se o rácio peso/área (kg/m^2), Figura 30. Pode-se verificar que as soluções mais promissoras são as que conjugam materiais, polímero e estrutura em aço, ou as de alumínio (Camboa et al. 2012).

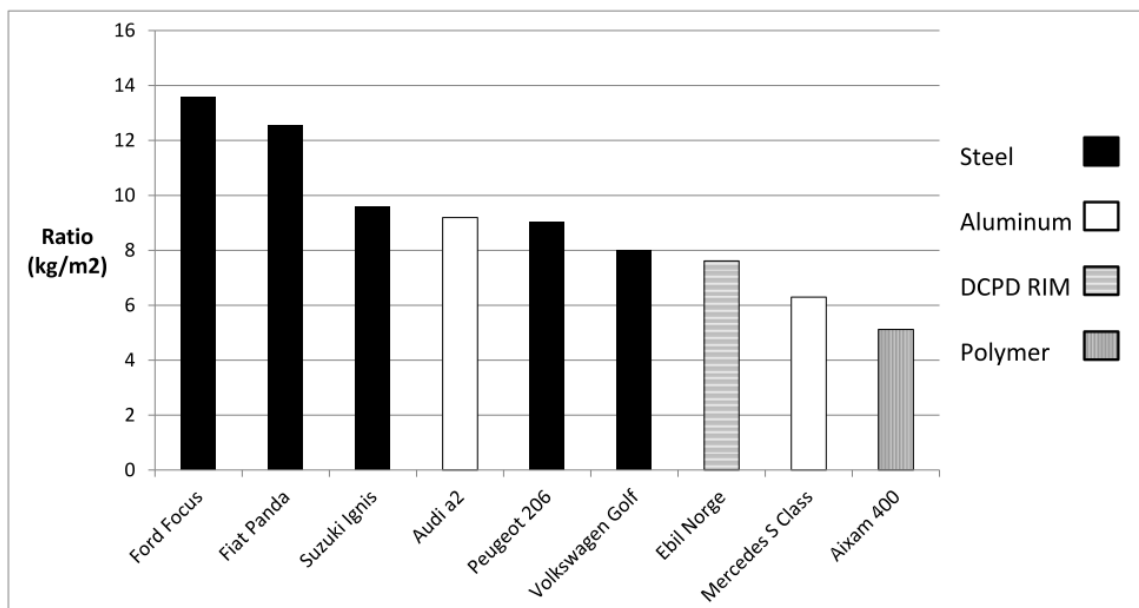


Figura 30 – Rácio entre o peso e a área, de cada carro em estudo (Camboa et al. 2012).

Apesar do DCPD apresentar propriedades mecânicas suficientemente boas, precisa de ser reforçado no caso de aplicações que requerem estabilidade estrutural adicional. Apresenta-se

de seguida os resultados da aplicação de insertos metálicos para melhoria dessas propriedades mecânicas.

Foram estudadas as melhorias das propriedades mecânicas do DCPD (série Telene ® 1650) quando reforçado com fios de aço inoxidável sobre moldado através do RIM e injetados em moldes de alumínio. Compararam-se amostras de provetes com e sem insertos de metal depois de submetidas a testes de flexão segundo a norma EN ISO 178:2003, Figura 31 (Camboa et al. 2013).

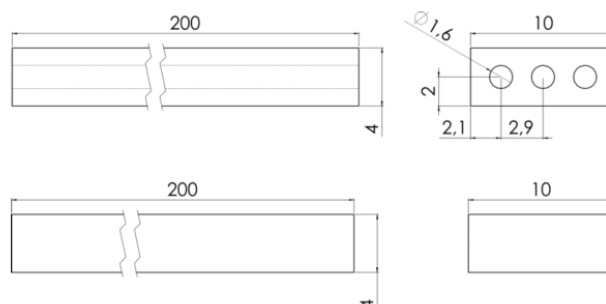


Figura 31 – Geometria dos provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) , para ensaios à flexão (Camboa et al. 2013).

Os testes à flexão em três pontos, foram realizados com um equipamento universal de ensaios mecânicos Shimadzu AG - X – 100 kN, utilizando uma célula de carga de 100 kN. Este trabalho obteve as seguintes conclusões:

- O comportamento médio à flexão, no caso dos provetes totalmente em DCPD, foi de aproximadamente 35.6 MPa, nos provetes com insertos metálicos foi de 116.9 MPa, Figura 32. O que representou uma melhoria de três vezes no comportamento à flexão com os insertos metálicos.

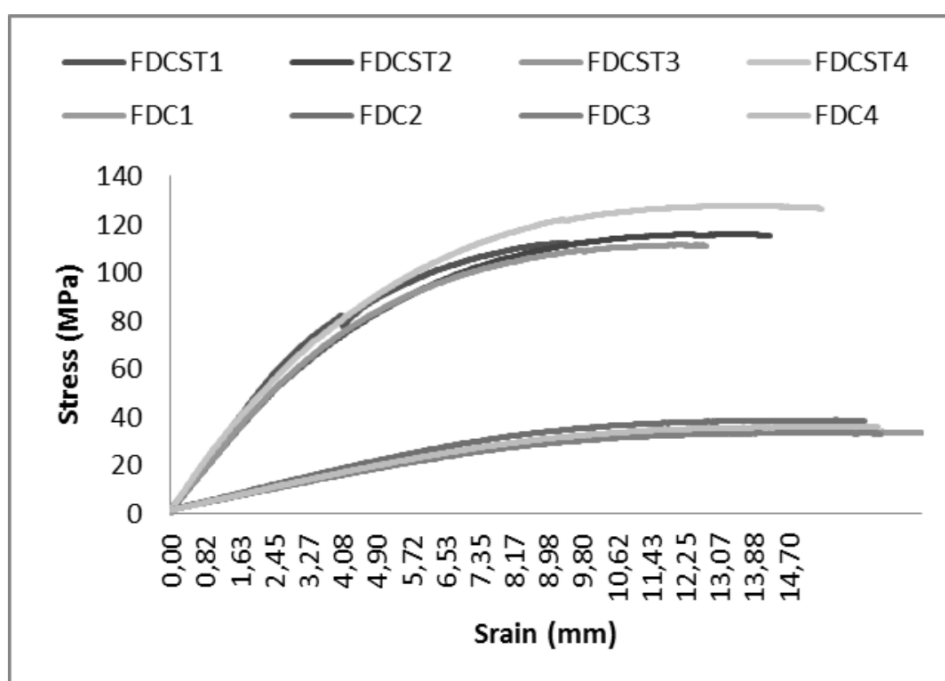


Figura 32 – Curvas tensão e deformação do ensaio de flexão, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).

- Em relação ao módulo de flexão, Figura 33, obtiveram-se os seguintes resultados: 1.064 MPa provetes sem reforços e 6131 MPa nos provetes reforçados, verificando-se uma melhoria substancial. Isto significa que a utilização dos reforços de aço permitiu melhorar o módulo de flexão em aproximadamente 6 vezes.

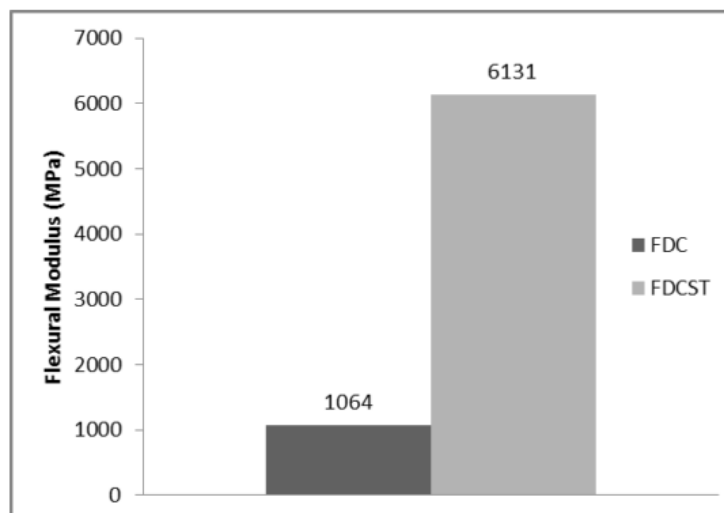


Figura 33 – Módulo de flexão de ambas as amostras, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).

De referir que os valores obtidos nos provetes totalmente em DCPD foi um pouco inferior aos tabelados. O módulo tabelado é de 1870 MPa, Anexo C, na experiência apenas se atingiu os 1.064 MPa. No comportamento à flexão o resultado foi de 35,6 MPa, abaixo do valor tabelado 67 MPa, Anexo C. Estes resultados podem resultar da falta de material para uma reação completa, presença de espaços vazios ou consolidação deficiente levando à perda de propriedades mecânicas.

Para averiguar esta hipótese foram avaliadas as densidades dos materiais, Figura 34. A amostra não reforçada apresentou uma densidade de 0,8 Mg/m³, verificando-se uma densidade inferior à tabelada 1,03 mg/m³. Já as amostras reforçadas apresentaram uma densidade de 2 mg/m³. Estes valores permitem concluir que as amostras de aço reforçadas são 2.5 vezes mais densas (Camboa et al. 2013).

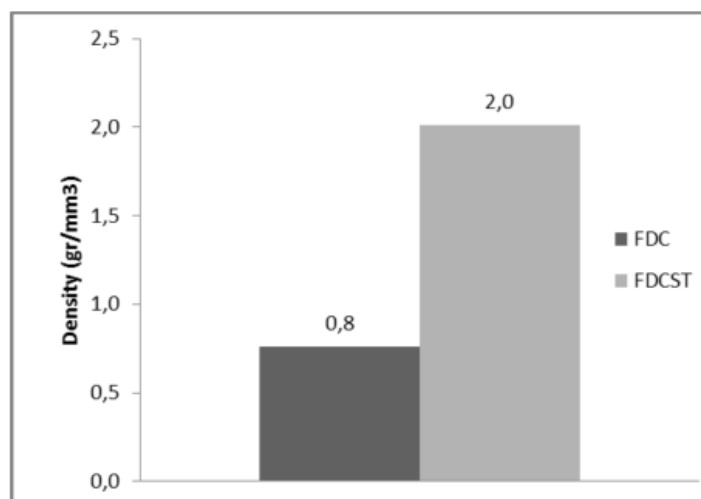


Figura 34 – Densidades obtidas dos provetes ensaiados, com e sem reforços metálicos, provetes com reforços (FDC) e sem reforços (FDCST) (Camboa et al. 2013).

Fornecedores

Dentro dos fornecedores de DCPD para o processo RIM encontram-se as marcas concorrentes Telene SAS (desde de 1988 pela BFGoodrich) e Metton, (desde 1985 pela Hercules) (Ng 1992), respetivamente patenteadas (Lane et al. 1990; Janda 1990; Minchak e Lane 1987; Minchak 1984) e (Tom 1985b; Klosiewicz 1983; Tom 1985a; Klosiewicz e Tom 1987).

Atualmente as resinas termoendurecíveis Telene contemplam várias séries: 1600, 1700 e 1800. Dentro da série 1600, existem as Telene 1650, 1651 e 1620, que diferem ligeiramente em algumas propriedades, Anexo C, como por exemplo no tempo de fumo (Telene SAS).

A Metton comercializa uma resina líquida moldável designada por Metton LMR. É um polímero reticulado termoendurecível com base em polidiciclopentadieno (PDCPD), cujo desempenho e propriedades mecânicas são semelhantes aos termoplásticos de engenharia. Algumas propriedades e condições de processamento observam-se no Anexo D (Metton).

Anteriormente a ZEON Corporation comercializava a resina Pentam® enquanto Teijin Metton Co. produzia a resina termoendurecível Metton®, estas baseadas em DCPD para o processo RIM. Em 2003, as empresas uniram-se e deram origem a RIMTEC Corporation, que em 2005 adquiriu Telene SAS. Assim as resinas Pentam e Metton são comercializadas no Japão, Coreia e Singapura, enquanto a Telene® é na Europa, América do Norte e outros países (Rimtec).

A resina PENTAM tem a série 1600 e 4000, no Anexo E observam-se as características da PENTAM® 1600 (Prospector).

Na Tabela 7 podem-se observar algumas propriedades da resina líquida:

Tabela 7 – Algumas propriedades da série 1600 da Resina Telene.

Properties	Standard N°	Unit	1650	1651	1620
Specific Gravity	ASTM D792		1.03	1.03	1.03
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	1870	1870	Nd.
Tensile Strength @ Yield	ISO 527	MPa	43	43	44
Elongation @ Yield	ISO 527	%	5	5	Nd.
Flexural Strength	ISO 178	MPa	67	67	67
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	1850	1850	1850
Impact Strength (notched Izod) @ +23°C	ASTM D256	KJ/m ²	30	30	22
Rockwell Hardness	ASTM D785		HRR 114	HRR 114	HRR 114
Glass Transition Temperature	Method 1	°C	155	155	Nd.
Heat Distortion Temperature (under 1.8 MPa Load)	ASTM D648	°C	120	120	112
Linear Thermal Expansion	ASTM D696	m/m/°C	79 x 10 ⁻⁶	79 x 10 ⁻⁶	79 x 10 ⁻⁶

Os componentes constituintes da resina, quando são injetados, a cerca de 23°C, têm uma viscosidade perto dos 350 mPa.s, o que os torna suficientemente líquidos e as suas densidades são de 0.987 kg/dm³. Ao solidificar o sólido apresenta uma densidade de 1.03 kg/dm³, o que significa que o volume contrai 6%. Para peças finas com espessuras de 5 mm, essa contração traduz-se em 0.9 % em cada direção (Vervacke 2008). Em termos de temperaturas atingidas, a reação exotérmica pode chegar aos 185°C.

Comparando algumas propriedades do DCPD com outros materiais, entre eles, SMC – *sheet molding compound* com 30 % de fibras de vidro, Poliuretano rígido, ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e PP (Polipropileno), gráficos no Anexo F (Vervacke 2008), conclui-se que o PDCPD combina excelentes propriedades mecânicas, que torna um polímero de engenharia

único, com elevado módulo e resistência ao impacto, além de ótima resistência química, estabilidade dimensional e boas propriedades de adesão à pintura (Ng 1992).

Empresas que utilizam o RIM

Algumas das empresas especialistas no PU RIM são: Osborne Industries, Figura 35; Polirim; Ci-ESSE; Rimnetics; RimStar; Polyurethane Molding Industries; Premold Corp e RIM Manufacturing (Ci-ESSE; Osborne Industries; Polirim; Rimnetics; Rimstarinc; Pmirim; Premold; RIM MFG).

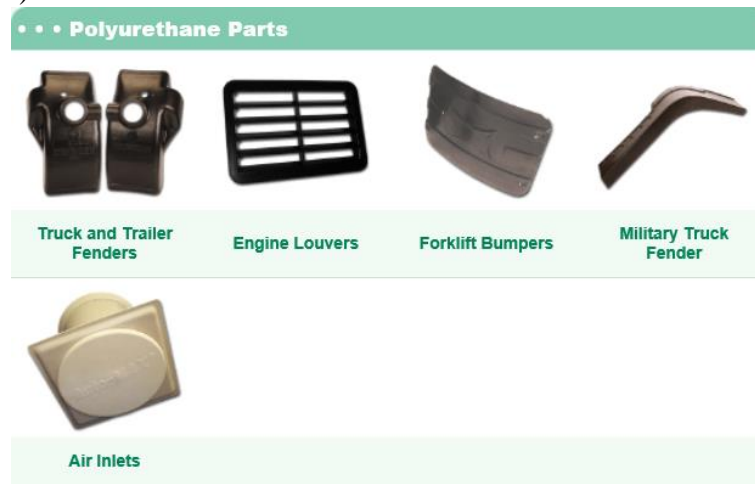


Figura 35 – Produtos produzidos pela Osborne Industries com o RIM de PU (Osborne Industries).

Algumas empresas acabam por criar os seus próprios guias de *design*, como acontece por exemplo com a Premold Corp, ainda que baseado no *design guide* já existente para PU RIM da Bayer (Premold).

Em relação ao DCPD RIM as empresas especialistas são: Telene; Osborne Industries, Figura 36; Polirim; Ci-ESSE; Metton; Inbrasp e RomeoRIM (Ci-ESSE; Osborne Industries; Polirim; Inbrasp; Romeorim; Telene SAS; Metton).

A RomeoRim, utiliza a resina Metton, e também tem guias de referência de *design* para os vários materiais que utiliza no RIM, Anexo G, (Romeorim).



Figura 36 – Produtos produzidos pela Osborne Industries com o RIM de DCPD (Osborne Industries).

A Polirim no Brasil em 2012, ganhou o Prémio Iteração na categoria: Excelência em Custos, ao propor à Mercedes-Benz a utilização do DCPD (Mercedes-benz).

Aplicações

O RIM produz peças plásticas com a injeção de misturas reativas de baixa viscosidade, o que permite a produção de peças grandes com geometrias complexas (Macosko 1989). Os produtos do RIM são aplicados em diversas áreas, tais como: aplicações médicas, telecomunicações, indústria eletrônica, indústria automóvel etc. (Silva 2008).

No caso do PU RIM as aplicações são as seguintes: pára-choques, painéis exteriores, apoio dos braços e encosto de cabeça, assentos, painéis de instrumentos, caixas aerodinâmicas e mobiliário (Monk 1997).

As propriedades do PDCPD fazem com que este possa ser utilizado com sucesso em várias aplicações de transporte, tais como os painéis exteriores para camiões, automóveis, comboios e máquinas agrícolas, Figura 37 (Toplosky e Walsh 2006; Ng 1992).



Figura 37 – Produtos produzidos pela Polirim em DCPD RIM, Painéis exteriores médios e grandes, capôs, guarda-lamas, etc. (Polirim).

Equipamentos

Para o processo RIM são necessários equipamentos específicos de armazenamento e linhas de alimentação. Tem que haver uma unidade de mistura e injeção. Estes equipamentos podem ser mais ou menos compactos, com maior capacidade ou mais portabilidade. Existem diversas empresas que comercializam estes equipamentos, como por exemplo a Graco (Graco) e OMS (OMSgroup).

Nem todos os sistemas RIM necessitam de prensar os moldes, em alguns casos os sistemas de fecho do molde são suficientes. Os equipamentos utilizados no PU RIM, podem ser utilizados no DCPD RIM, embora sejam necessárias algumas alterações.

Vantagens e Desvantagens

A grande vantagem deste processo é ter uma maior flexibilidade de *design* que os processos convencionais, permitindo criar peças inovadores e criativas, com elevada resistência e baixo peso (Silva 2008).

No caso do DCPD graças à sua baixa viscosidade, a resina enche completamente as cavidades de qualquer forma ou tamanho. As peças podem incluir: variações de espessura, *Ribs* (nervuras)

e *Bosses* (ressaltos ou saliências). As peças podem atingir os 35kg, mas com aditivos e retardadores da reação podem chegar a pesar 100 kg.

A maior dificuldade é fazer rebaixos, para tal é necessário movimentos do molde e pequenos ângulos de saída (Vervacke 2008).

Devido às baixas viscosidades, pressões e temperaturas usadas no processo, o investimento necessário em ferramentas é pequeno, o que torna o PDCPD uma solução de baixo custo, atraente para o fabrico de pequenas e médias e séries de peças plásticas. A técnica RIM apresenta também a vantagem de permitir o fabrico fácil de peças de tamanhos médios e grandes. As peças em PDCPD apresentam boas propriedades mecânicas, tais como, a resistência ao impacto e à fratura, dureza, resistência à corrosão e baixa densidade (Abadie et al. 2000).

Segue-se um resumo das vantagens e desvantagens do processo com PU e DCPD, Tabela 8, e os aspetos comparativos na Tabela 9.

Tabela 8 – Vantagens e Desvantagens do PU RIM e DCPD RIM.

	PU RIM	DCPD
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Dureza excecional; - Excelente qualidade superficial; - Vasta gama de propriedades possíveis; - Flexibilidade de <i>design</i>; - Moldação a pressão e energia baixa; - Espumas (redução de densidade); - Possibilidade de introduzir insertos; - Excelente moldação de áreas de grande superfície; - Produzido em várias cores(Monk 1997). 	<ul style="list-style-type: none"> -Económico; -Reprodutível e robusto; -Capacidade de produção; -Boa qualidade final; -Variedade de <i>design</i>.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> -Limitações de resistência e rigidez; -Resistência ao calor, ácidos, água quente e vapor; -Controlo relacionado com a utilização de isocianatos; -Tendência a fluir e a ceder (Monk 1997). 	<ul style="list-style-type: none"> -Não permite coloração; -Boa qualidade superficial de um só lado; -Odor; -Reciclagem; -Resistência ao fogo (Vervacke 2008).

Vervacke, 2008, elaborou uma tabela comparativa entre o PU e o DCPD na produção de protótipos:

Tabela 9 – Tabela comparativa entre o PU eo DCPD (Vervacke 2008).

	DCPD	PU
Maquinagem	+	++
Económico	+	++
HDT -Temperatura de Distorção Térmica	++	+
Resistência ao Impacto	+++	+
Resistência química	+++	+
Espessuras reduzidas	+++	++

Pode-se concluir que o DCPD tem melhores propriedades mecânicas e possui mais flexibilidade.

Design de peças

A pensar no PU RIM a Bayer criou *Guidelines* para as peças e *design* dos moldes, Anexo H.

Em relação à peça, em função do tipo de PU, elastómero, rígido ou compósito, especifica espessuras, ângulos de saída, refere ainda a qualidade superficial obtida, possibilidade de insertos, entre outros aspetos. Seguem-se alguns exemplos, Figura 38 e Figura 39.

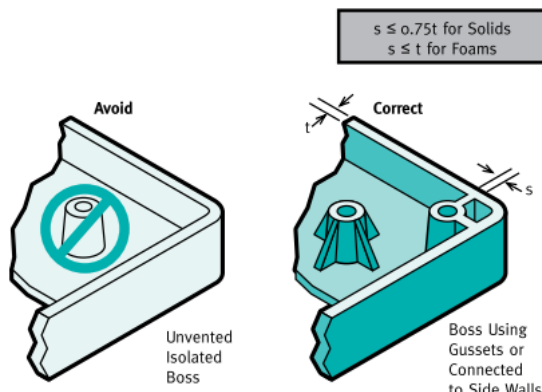


Figura 38 – As saliências devem ter reforços, ou estar conectadas com as paredes (A Design Guide 1995).

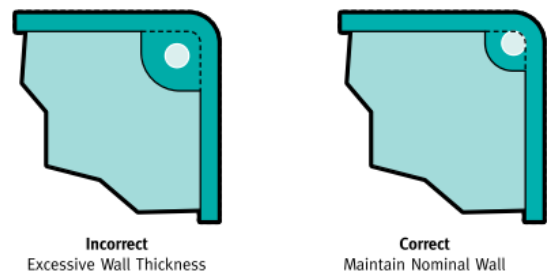


Figura 39 – A forma correta dos cantos salientes é manter a espessura das paredes (A Design Guide 1995).

Faz ainda referência ao tipo de *gate*, pressões e temperatura do processo, Figura 41 (A Design Guide 1995).

A pensar na resina Telene, a Telene SAS criou *guidelines* do processo, do *design* das peças e projeto do molde, para o DCPD RIM. No Anexo I encontra-se um resumo das informações relacionadas com o processo e projeto do molde.

A Telene começa por referir a escolha do material do molde. Há diversos fatores que se devem ter em conta, tais como: a qualidade superficial que se pretende obter na peça, o volume de produção, o tamanho da peça, o custo do molde (material e fabrico), a capacidade de fazer alterações e reparações posteriormente e a vida útil do molde (Telene SAS). Para o DCPD podem ser utilizados moldes de diferentes materiais, dependendo do número de partes a

produzir, da vida útil do molde, do tipo de peça (dimensões e forma), da qualidade superficial e tolerâncias.

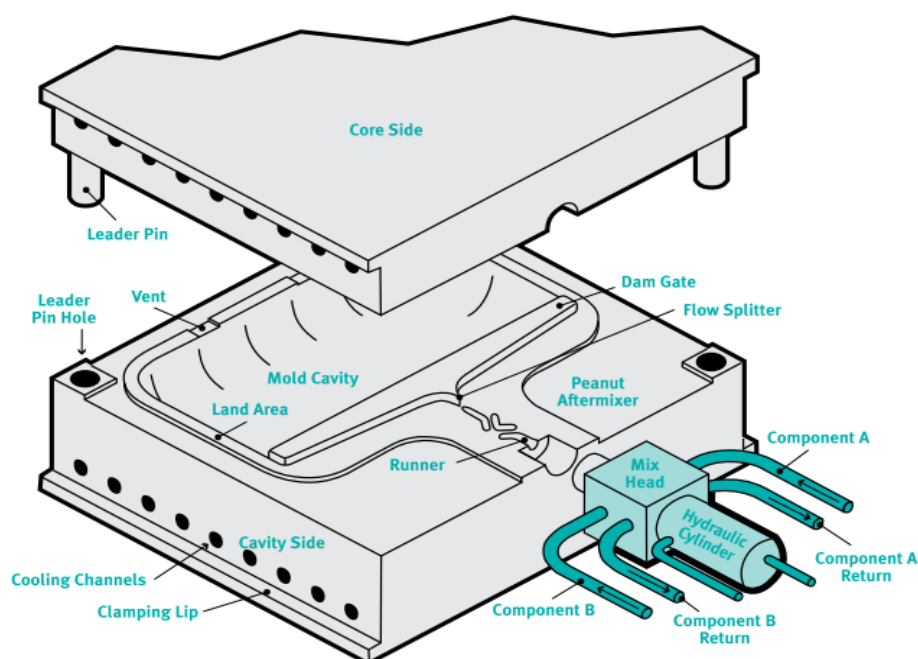


Figura 41 – Configuração típica de um Molde de RIM, com um misturador (*aftermixer*) e Dam gate (A Design Guide 1995).

Para os moldes das peças do Buddy foram testados dois tipos de materiais: Ebaboard W (Figura 40) e alumínio. O Ebaboard W é um compósito de Poliuretano com carga de alumínio, é utilizado para ferramentas e moldes, tem 1.76 g/cm^3 de densidade, Anexo J, apresenta e boas propriedades de maquinagem (*milling*) (Ebalta). O alumínio é um material convencional que apresenta bom acabamento superficial (Teixeira e Ribeiro 2010).

Segundo a Telene SAS, a tecnologia de pulverometalurgia não pode ser utilizada com a resina Telene, pois o metal é facilmente removido ao desmoldar da peça.



Figura 40 – Molde Protótipo em EbaBoard W produzido no CEiiA.

Em anexo encontram-se uma descrição dos materiais que podem ser usados nos moldes para fabrico de peças em Telene: Madeira, epóxi, alumínio fundido ou maquinado, liga de zinco-alumínio, chamada kirk site ou Zamak 2 - ZnAl_4Cu_3 e aço. Ainda se podem utilizar materiais com revestimento superficial de níquel – processo de niquelagem (Telene SAS). Na Tabela 10

está a comparação desses materiais em relação ao termos de vida útil, qualidade superficial, dureza e condutividade térmica.

Tabela 10 – Comparação de alguns materiais de moldes para o DCPD RIM, em termos de vida útil, qualidade superficial, dureza, condutividade térmica (Telene SAS).

Materials	Projected Tool Life (No. of parts)	Part surface quality	Mould surface Hardness (°)	Heat thermal conduct. W / (m. °C)	Comments
Wood	<10	Poor	75-100 RM	0,11	Concept evaluation
Epoxy	<500	Fair	80-110 RM	0,9	Prototyping, short prod. runs
Cast Metal	<10,000	OK	60-100 BN	85 to 200	Production of non class A parts
Aluminium	>50,000	Good	60-90 BN	200	Production capable
Nickel Shell	>100,000	Excellent	90-120 BN	58	Economical, change or repair difficult
Steel	>200,000	Excellent	130-160 BN	43	High volume, best surface (requires plating)

* RM = Rockwell Hardness "M" scale; BN = Brinell Number

Relativamente ao *design* do molde, Figura 42, os fatores que afetam a qualidade de peça são:

A - linha de apartação;

B - localização da *Gate*;

C - ventilação;

D – *flash*;

E – *gasket*;

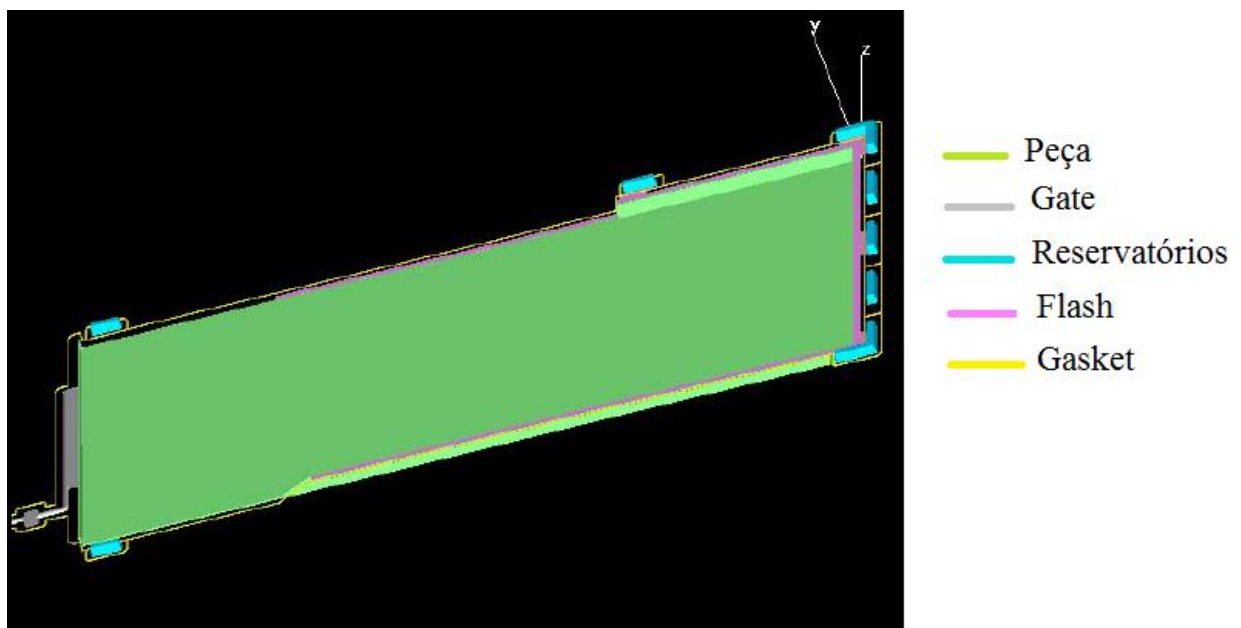


Figura 42 – Projeto de moldes, em termos de localização da *gate*, reservatórios, *flash* e *gasket* (Telene SAS).

Outros parâmetros a ter em conta que afetarão o desempenho do processo:

F - projeto das linhas de controlo de temperatura;

G - pinos guia e posicionamento do molde;

H - dispositivos de Manutenção.

Segue-se uma breve descrição de cada um dos elementos.

A - Linha de apartação

O custo do molde e a qualidade das peças é muito sensível à localização da linha de apartação. Ventilação, rebaixos e o desmoldar são fatores que têm que ser considerados para posicionar a linha de junta.

B – Gate

O posicionamento da *gate* deve antecipar questões relacionadas com o enchimento da peça, a forma da mesma. A *gate* tem influência no regime de fluxo injetado, uma vez que a colisão dos reagentes se dá a alta pressão, essa mistura turbulenta deve ser transformada num fluxo laminar, para minimizar os defeitos. Esta transição é feita pela geometria da *gate*, localizada entre a cabeça de mistura e a cavidade do molde, Figura 43.

Tipos de gate recomendadas para a resina Telene:

- Rod ou Sprue gate;
- Dam gate;
- Fan gate.

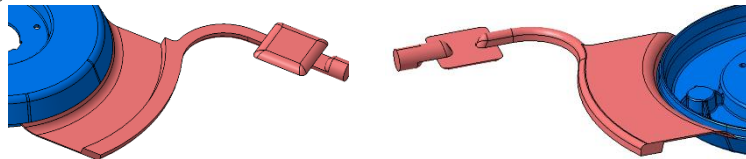


Figura 43 – Exemplo de Gate utilizada nas peças em estudo.

Tem que se ter em atenção o *design* da *gate*, Figura 44, de forma a permitir que a mistura entre na cavidade do molde em fluxo laminar suave com um mínimo de bolhas e turbulência. Para tal é necessário ter em conta as seguintes condições:

Velocidade no ponto de injeção

< 4 m/s para as peças mais finas (< 4 mm de espessura perto do ponto de injeção)

< 2 m/s para peças espessas (> 6 mm de espessura perto do ponto de injeção)

Número de Reynolds (fluxo que sai do ponto de injeção)

Re <10

Queda de pressão na gate

Deve ser de pelo menos 1,5.

Localização do ponto de injeção

- Inclinar o molde para minimizar os defeitos do enchimento do molde;
- Ponto de injeção localizado perto do ponto mais baixo do molde;
- Localizar o ponto de injeção para que a ventilação seja fácil e o fluxo não seja perpendicular a bordas ou nervuras.

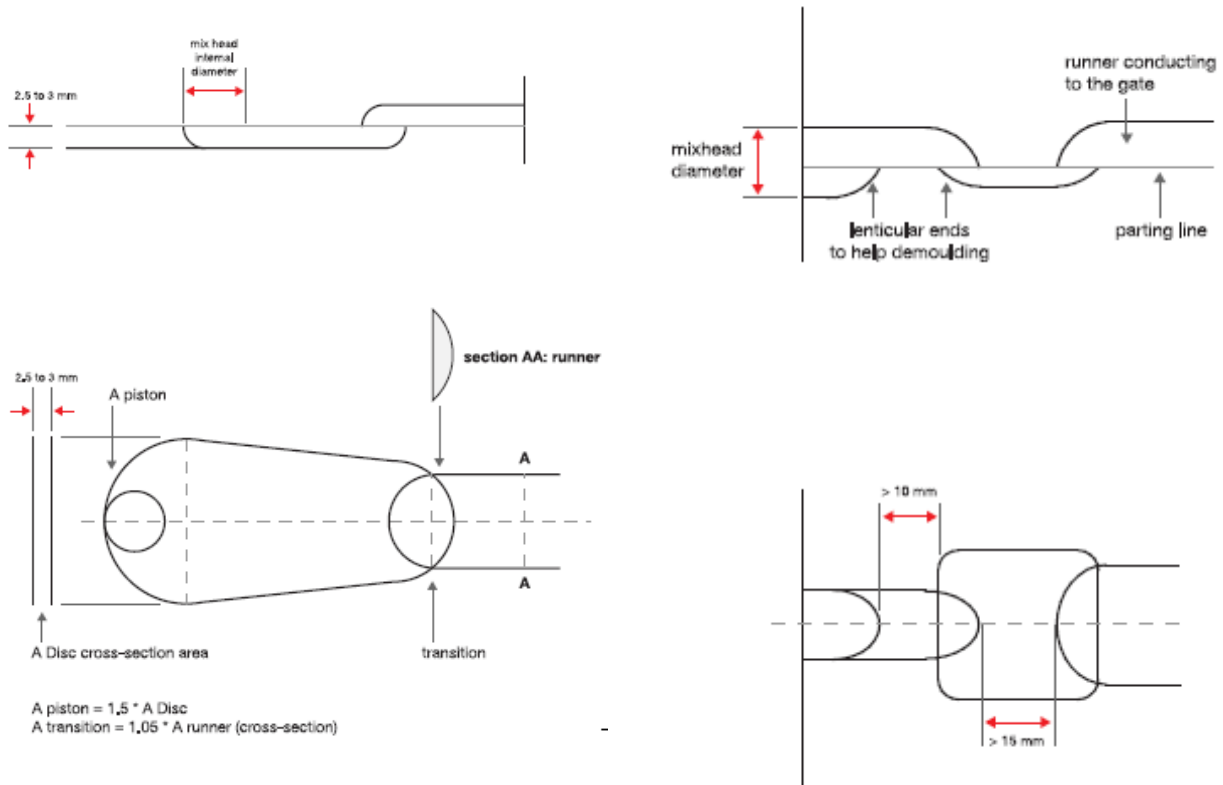


Figura 44 – Design das gates (Telene SAS).

No Anexo I, encontram-se cálculos da queda de pressão, e alguns exemplos de *gates*.

C – Ventilação (*Vents*)

A ventilação tanto pode ser utilizada para eliminar o ar aprisionado no interior da cavidade, como para assegurar a pressão interna no final da injeção. A ventilação deve estar localizada no lado do núcleo/macho, próxima dos últimos pontos a serem preenchidos, Figura 46. O volume dos reservatórios deve ser entre 5 a 10 % do volume da peça, Figura 45.

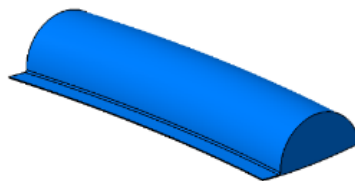


Figura 45 – Reservatório utilizado nos moldes.

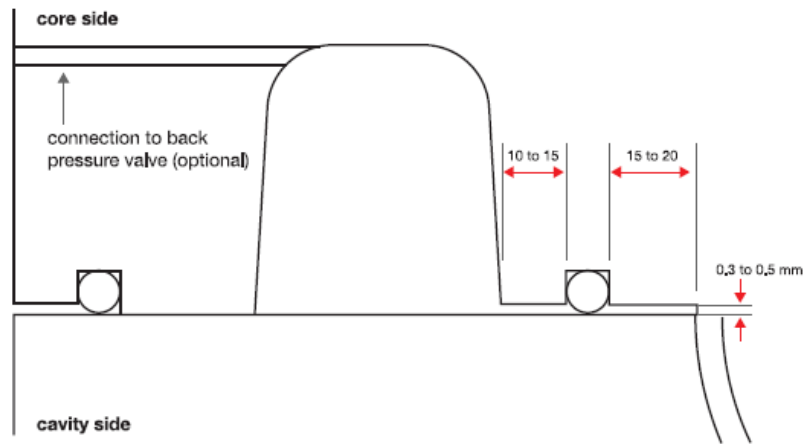


Figura 46 – *Design* da ventilação (Telene SAS).

D - Flash - Rebarba

Uma pequena área de rebarba em torno da peça permite uma janela de processamento mais ampla. Esta rebarba pode ser usada para capturar bolhas, permitir ventilar algumas linhas de separação e minimizar a frequência de limpeza do molde.

A rebarba é especificamente necessária em áreas onde a velocidade do fluxo é perpendicular ao bordo da peça. É importante ter uma rebarba grossa o suficiente para ficar na peça ao desmoldar, evitando operações de limpeza do molde adicionais, o seu desenho deve permitir que seja facilmente removida da peça na fase de desbaste.

Em alguns locais a rebarba pode servir como um canal para guiar o ar em direção ao reservatório. Este reservatório não precisa de ser totalmente preenchido, mas vai permitir resolver problemas de ventilação.

E - Gasket

Toda a cavidade do molde e cabeça de mistura devem ser englobados por uma junta de borracha, que permite o aumento da pressão interna no molde.

A ranhura da junta deve ser cuidadosamente projetada e localizada para otimizar a operação de moldação e vida da junta. Esta deve estar o mais próximo possível do ataque à peça e contornos da mesma. Pode ser colocada em ambas as faces do molde.

A secção transversal da ranhura deve ser maior do que a junta de vedação, bem como as tolerâncias nas dimensões da junta, Figura 47.

Devem ser evitados cantos pronunciados no percurso da ranhura para evitar danos da junta.

A altura típica de compressão é de 0,5 mm. A junta pode ser de uma borracha convencional, a sua dureza depende do seu diâmetro, mas normalmente é de 70 Shore A para 5 mm de diâmetro, e 40 Shore A para 8 mm de diâmetro.

Se houver problemas de ventilação, a junta pode ser cortada, para criar ventilação local.

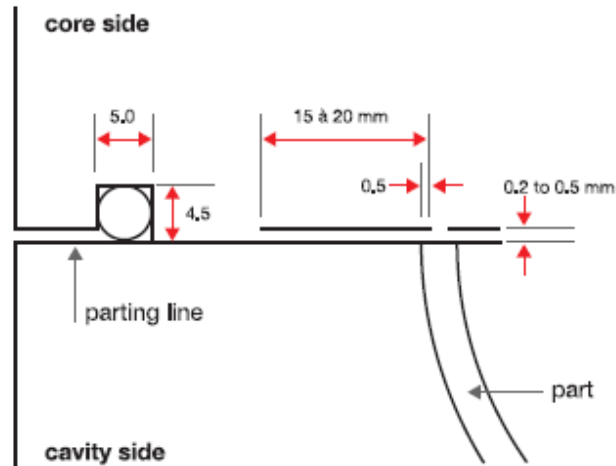


Figura 47 – Design do *flash* e *gasket* (Telene SAS).

F - Projeto linhas de aquecimento / arrefecimento

A temperatura típica de molde será de 75 ° C a 80 ° C na série na cavidade, 60 ° C a 65 ° C sobre o núcleo. A qualidade da superfície, o comportamento ao desmoldar e o tempo de ciclo será afetado por um mau controle da temperatura da ferramenta. No fundo estas linhas servem para estabilizar a temperatura do molde, já que em cada injeção há libertação de calor, provocada pela reação exotérmica do material.

As ligas de aquecimento / arrefecimento dependem do material do molde e sua construção.

Se as linhas estão localizadas muito perto da superfície do molde, é sempre preferível reduzir o diâmetro da linha e aumentar o número de linhas, a fim de evitar que o ponto de acesso possa ser visto na superfície da peça.

Os melhores resultados foram observados quando se conecta as linhas de água através de um coletor de distribuição que cria um fluxo de água paralelo.

As linhas podem estar à distância de 50 mm umas das outras. O espaço típico entre as linhas é de 70 a 100 mm.

Em moldes maquinados normalmente usam-se diâmetros maiores, à volta de 16 mm, distanciados a alguns centímetros da superfície do molde.

G - Guia de pinos

Todos os moldes devem ter pinos de guia destinadas a guiar a abertura e fecho do molde.

H- Dispositivos de Manutenção

Todos os moldes devem ser projetados com fácil instalação, fixação e remoção utilizando suportes de metal.

Contração da Peça

Com a polimerização da resina Telene há uma redução de aproximadamente 6% do volume de material líquido quando solidifica no molde. Aproximadamente 1% é esperado na direção paralela e perpendicular ao fluxo.

A contração da peça depende da sua espessura, Tabela 11, e pode ser controlada pelos parâmetros do processo, variações da parede, projeto de peças, etc.

Tabela 11 – Percentagem de contração em função da espessura da peça (Telene SAS).

Part thickness (mm)	% Shrinkage from cold part to cold tool
3 to 4	0,85
5 to 7	0,90
8 to 12	1,00

Para maiores espessuras, a contração dependerá dos parâmetros de processo e controle de temperatura do molde.

Um vez que a contração vai depender da espessura da peça, um rápido aumento ou diminuição da espessura vai causar um efeito de contração local, levando ao aparecimento de rechupes, que afetarão a estética da peça. Estas mudanças verificam-se em nervuras de reforço das peças, relevos para inserções, ângulos agudos e ou gradual aumento/redução na espessura de uma parte curva da peça.

Desmoldar a peça

Devido ao processo de cura a peça terá tendência para ficar no lado quente do molde. Quando uma peça requer alta qualidade de superfície de um dos lados, a metade mais quente do molde deve ser do lado da face visível da peça, face com melhor acabamento, que normalmente corresponde ao lado da cavidade.

O comportamento normal será então, Figura 48:

- Abertura da ferramenta;
- Remoção do *flash* periférico, permitindo que a contração linear tenha lugar;
- Agarrar a peça usando o *flash* para remover a peça da cavidade.

O polímero atinge todas as suas propriedades mecânicas e térmicas na ferramenta durante a etapa de cura, e, portanto, não pode ser retirado da cavidade, como uma parte de PU.

Ao projetar um molde, deve-se ter atenção e antecipar possíveis problemas ao desmoldar. Várias formas podem criar tais dificuldades: relevos, inserções, nervuras. Neste caso pode ser necessário o uso de ejetores para auxiliar o desmoldar da peça, a menos que possam ser usados ângulos de inclinação.

Fig. 3: Demoulding behaviour

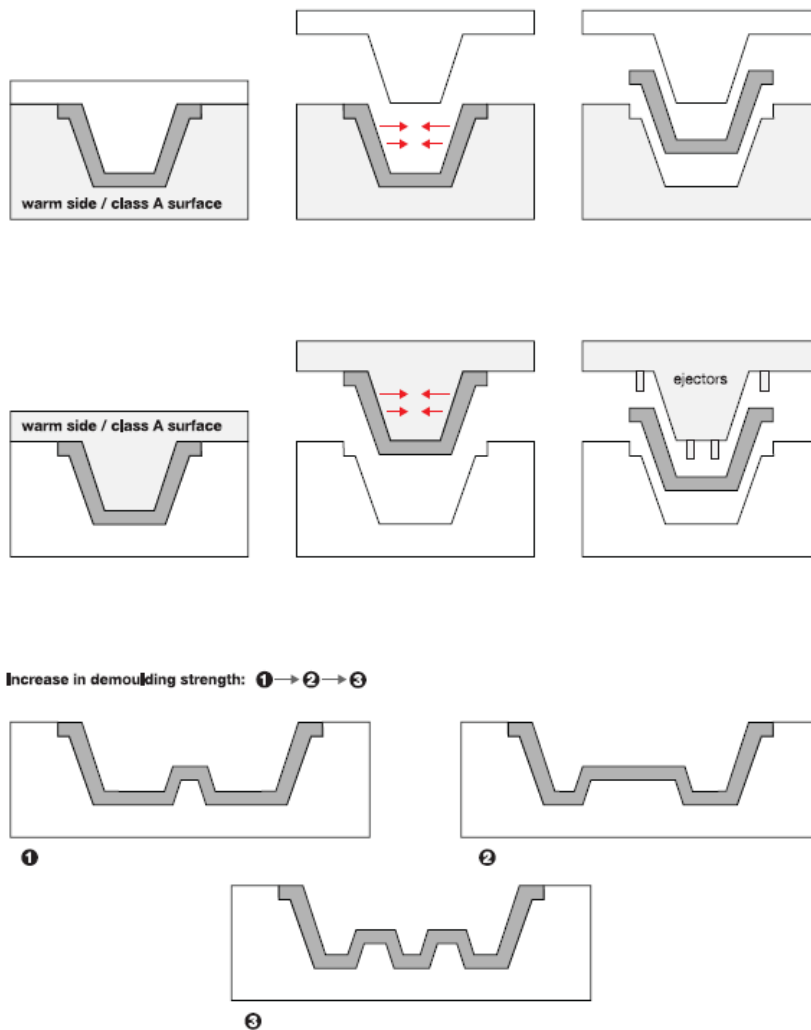


Figura 48 – Comportamento ao desmoldar (Telene SAS).

Custo

Em termos de custo, a Telene SAS compara o processo RIM para grandes volumes com o *sheet molding compounds* - SMC, *Longer Fiber Injection* - LFI e *Injection Molding* - PC/PBT, para pequenos volumes compara com o SMC e *Fiber-glass reinforced polyester*- GRP *Hand lay up*, Tabela 12 (Telene SAS Março 2007).

A Telene SAS apresenta vários exemplos práticos de aplicações onde podem ser usados diferentes processos e conclui que uma linha de produção RIM tem custos inferiores (Telene SAS Março 2007).

Tabela 12 – Investimentos e custos de operações para grandes peças plasticas (Telene SAS Março 2007).

Characteristics / Material	Telene DCPD	LFI	PC/PBT	SMC
Process Used	RIM	Long Glass Reinforced PU RIM on a Film	Injection Moulding	Compression Moulding
Processing Line Investment in €	300.000	1.000.000	2.500.000	1.100.000
Tooling Investment in € for a 2 m ² shaped part 300 mm deep	80.000	150.000	600.000	400.000
Operating Cost of the line per hour in € Equipment amortization + maintenance	19.7	54.7	60.2	44.7

Os custos de investimento de uma linha de montagem e ferramentas RIM é inferior quando comparado com outros processos, Figura 49.

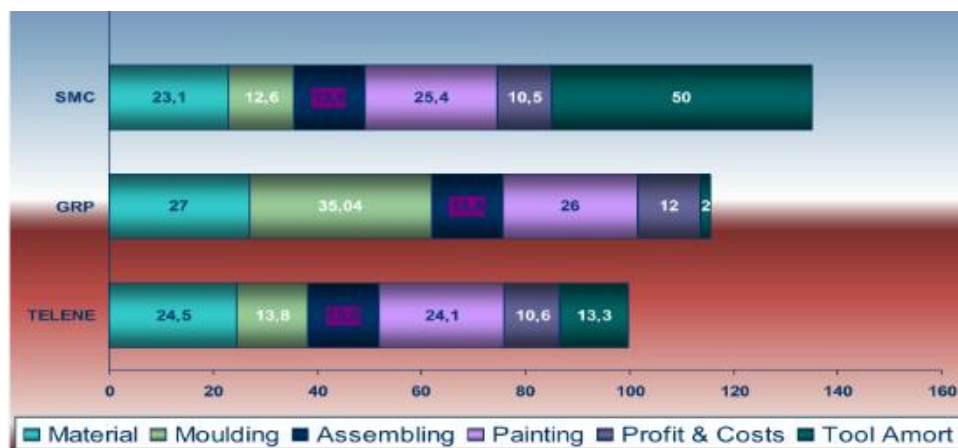


Figura 49 – Comparação de custos (Telene SAS Março 2007).

Em relação aos diferentes custos dos processos, materiais, moldes, acabamentos, etc, verifica-se que o RIM tem menores custos associados. Em termos de tempos a produção de uma peça DPCD, desde o projeto, fabrico do molde, injeção e acabamentos, Vervacke, 2008, contabilizou 27 h e esquemmatizou a seguinte sequência, Figura 50 (Vervacke 2008):

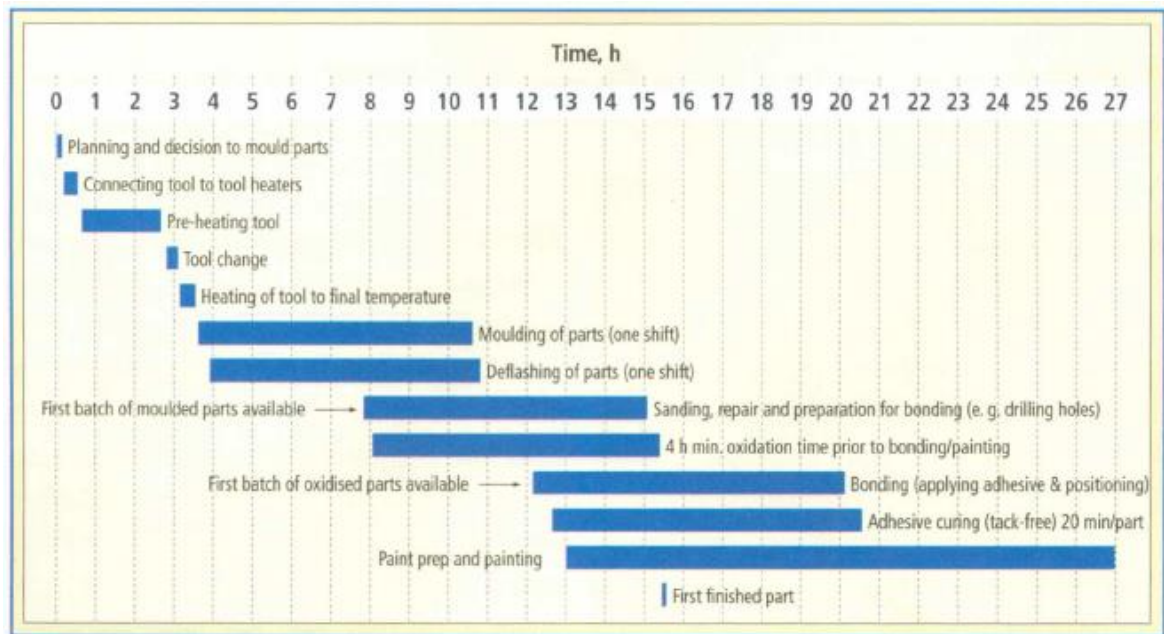


Figura 50 – Linha de tempo de produção e acabamento de uma peça DCPD .

Impactos ambientais

A possibilidade de reciclagem dos componentes automóveis e diminuição das emissões de CO_2 é atualmente uma exigência do mercado.

Também deve ser considerado o impacto ambiental e o consumo de energia do processo de fabrico, os materiais e respetivos ciclos de vida, a fim de projetar uma solução sustentável, que respeite as exigências ambientais.

O aço e o alumínio podem ser reciclados e reutilizados, mas tudo isso envolve elevada energia e emissões de CO_2 .

No caso do DCPD estima-se que irá apresentar emissões de valores mais baixos e de energia de processamento, cerca de 25 MJ, o que por cada quilograma de material reduz o impacto ambiental. Tem a desvantagem de não ser reciclado, mas a sua incineração é altamente exotérmica libertando uma grande quantidade de energia térmica 41kJ/kg (Camboa et al. 2012).

3. Metodologia

O presente trabalho experimental foi realizado em ambiente industrial, no CEiiA. Apresentam-se os principais meios utilizados. Neste capítulo constam ainda as metodologias e os procedimentos realizados na parte experimental deste trabalho.

3.1. Materiais e Equipamentos

Neste capítulo vão ser apresentados procedimentos e etapas deste trabalho, materiais e equipamentos utilizados.

3.1.1. Resina Telene

Segundo a base de dados de matérias MatWeb, a resina utilizada pelo CEiiA, Telene 1650 A/BK *Dicyclopentadiene*, tem as seguintes propriedades, Tabela 13, (Matweb):

Tabela 13 – Propriedades da resina Telene 1650 A/BK *Dicyclopentadiene*, segundo a Matweb (Matweb).

Lubrizol Telene 1650 A/BK Dicyclopentadiene (DCPD)			
Categories: Polymer ; Thermoset ; Polydicyclopentadiene (PDCPD)			
Material Notes:	Telene® is a two-component system based on extra-high purity dicyclopentadiene (DCPD). Telene® is processed using a standard high-pressure RIM Equipment (Reaction Injection Molding). Telene® results in a polymer showing a unique combination of stiffness and high impact resistance, as well as good thermal properties. Telene® is self-demolding without any need for release agents.		
	Information provided by Noveon, Inc.		
Vendors:	No vendors are listed for this material. Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.		
Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.03 g/cc	1.03 g/cc	ASTM D 785
Brookfield Viscosity	310 - 390 cP @Temperature 30.0 °C	310 - 390 cP @Temperature 86.0 °F	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	114	114	ASTM D 785
Tensile Strength, Yield	43.0 MPa	6240 psi	ISO 527
Elongation at Yield	5.0 %	5.0 %	ISO 527
Tensile Modulus	1.87 GPa	271 ksi	ISO 527
Flexural Strength	67.0 MPa	9720 psi	ISO 1783
Flexural Modulus	1.85 GPa	268 ksi	ISO 178
Izod Impact, Notched (ISO)	30.0 kJ/m²	14.3 ft-lb/in²	ASTM D 256
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	90.0 µm/m-°C @Temperature 20.0 °C	50.0 µin/in-°F @Temperature 68.0 °F	ASTM D 696
Maximum Service Temperature, Air	>= 180 °C	>= 356 °F	Exotherm Temp; Method 4
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	120 °C	248 °F	ASTM D 648
Glass Transition Temp, Tg	155 °C	311 °F	Method 1
Smoke Density	1.33 - 1.66 min	1.33 - 1.66 min	At 30°C; Method 4
Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	60.0 °C	140 °F	non show side
	80.0 °C	176 °F	show side

A resina Telene é um sistema de dois componentes, componente A e BK, Figura 51 e Figura 52. São necessárias quantidades mínimas de material de forma a garantir a reação e uma boa polimerização, daí que as espessuras mínimas recomendáveis sejam 3mm. Durante a reação de polimerização o Telene sofre uma redução de volume líquido de aproximadamente 6% ao solidificar no molde. O material é isotrópico, tem uma contração média de 1%, dependendo das variações de espessura, e pode ser controlado pelo *design* da peça (Teixeira e Ribeiro 2010).



Figura 51 – Componente A da resina Telene.

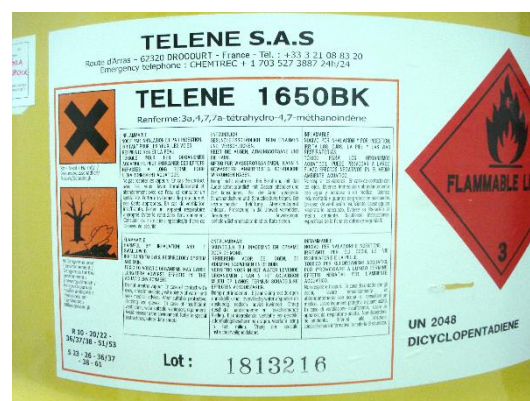


Figura 52 – Componente BK da resina Telene.

Para verificar o comportamento reativo do material é realizado um teste de tempo de fumo, que é o tempo que a mistura leva a polimerizar e corresponde ao tempo que o fumo demora a aparecer. O tempo de fumo, *Smoke Time* – SMT, Figura 53, medido a 30 °C, depende da temperatura e pode ser recalculado de acordo com o seguinte função de correlação:

$SMT \text{ a } 30^\circ \text{C} = 0,1356 * [SMT \text{ em } T] * EXP(0,667 * T)$ onde :

SMT a 30 °C = tempo de fumo a 30 °C;

SMT a T = tempo de fumo à temperatura testada;

T = Temperatura na qual foi feito o teste (Telene SAS).

Smoke time test:

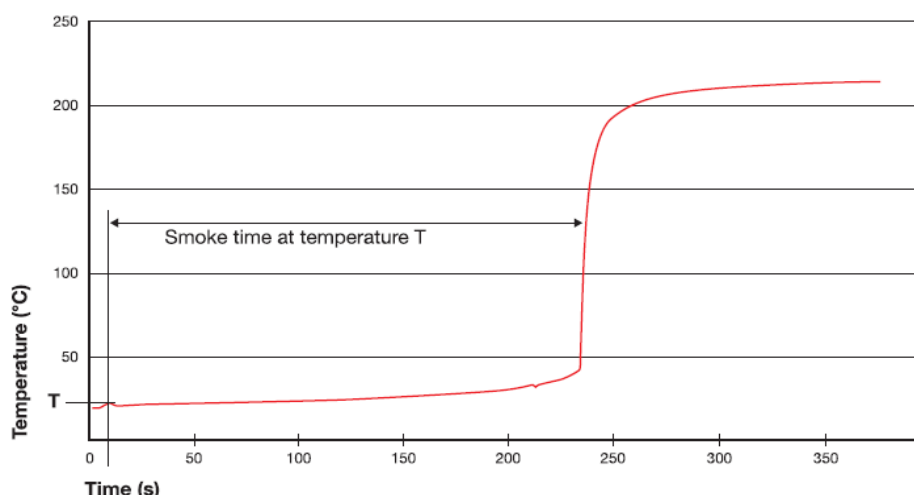


Figura 53 – Teste de tempo de fumo (Telene SAS).

A 30°C verifica-se um tempo de fumo de aproximadamente 240 segundos.

O segundo teste realizado, ETA-1000, Figura 54, mede o perfil de viscosidade. Este é importante para determinar o tempo de preenchimento do molde.

O ensaio é realizado a 30 °C e mede o tempo necessário para atingir uma viscosidade de 1000 centiPoise (1Pa.s) (Telene SAS).

ETA-1000 and SMT test:

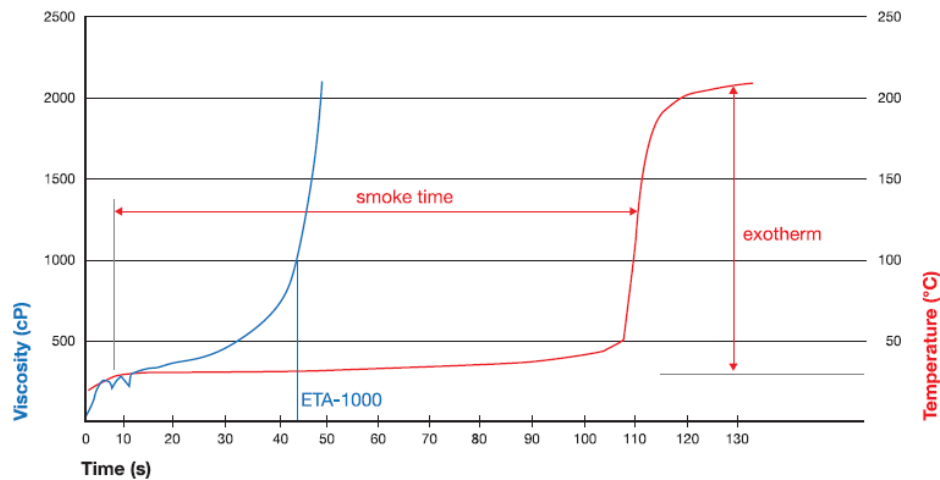


Figure 2: Viscosity profile chart to determine ETA-1000

Figura 54 – Teste de tempo de fumo e ensaio ETA-100 (Telene SAS).

Verifica-se uma oscilação da viscosidade nos primeiros 10 segundos. Aos 40 segundos observa-se um crescimento exponencial da viscosidade.

3.1.2. Molde

De acordo com as recomendações da Telene SAS, a liga usada nos moldes de alumínio é da série 5083, com menor teor de cobre, para prevenir a corrosão, cujas propriedades se encontram no Anexo K.

3.1.3. Equipamentos

- Máquina RIM

O equipamento RIM, ECOMASTER 2 é uma máquina de injeção, composta por 7 unidades: alimentação e termorregulação; unidade de injeção a alta pressão; cabeça de mistura, Figura 55; válvula de reciclagem do fluxo; unidade hidráulica; painel de controlo e painel de botões de comando.

Existem dois tanques pressurizados de aço ao carbono, com pressão máxima 4 bar, equipados com manómetro, válvula de escape, agitador de baixa velocidade, resistências, controladores de temperatura, entre outros componentes.

A dosagem de material é feita por bombas de pistões axiais, cuja pressão de alimentação varia entre os 0 e os 40 bar.

A cabeça de mistura tem autolimpeza. A válvula de fluxo de reciclagem funciona a baixa pressão para o tanque ou em alta pressão para a mistura cabeça, tem controlo electropneumático e é montada na linha de distribuição das bombas.



Figura 55 – Exemplo de uma Cabeça de Mistura (OMSgroup) (à esquerda) e Foto da cabeça de mistura existentes no CEiiA (à direita).

A unidade hidráulica tem 7,5 KW para o controlo do movimento e tempo do pistão de autolimpeza, com sistema de refrigeração (OMSgroup).

A ECOMASTER 2 100/50, Figura 56, trabalha com um rácio de material de um para um. Existem mais informações no Anexo L.



Figura 56 – Equipamento RIM.

- Prensa Hidráulica

Em relação à Prensa Hidráulica, Figura 57, Anexo M, as suas dimensões são de 3200 x 2100 x 4500 mm. Tem uma capacidade de força de 150 toneladas, o seu curso é de 1450 mm e é composta por 4 cilindros pressores e 2 de movimento. Tem uma velocidade máxima de aproximação de 70 mm/seg. e a sua velocidade mínima de fecho é de 0,9 mm/seg. A pressão máxima é de 210 bar, a unidade hidráulica de 300 Lts, o motor elétrico de 5,5KW e uma velocidade de rotação de 1000 rpm.



Figura 57 – Prensa Hidráulica.

É importante referir que a mesa da prensa utilizada não tem rasgos em toda a sua área, o que faz com que o molde não possa ser colocado no centro da mesa, mas sim numa extremidade, Figura 58. Isto causa desequilíbrios nas forças de fecho exercidas pelos cilindros da prensa, que em alguns casos podem traduzir-se num incorreto fecho do molde.

Além disso, a cabeça de injeção é demasiado grande comparada com a altura de alguns moldes, isso é visível no caso no molde do bonnet, daí que o posicionamento do molde seja numa extremidade da prensa.



Figura 58 – Posicionamento do molde na extremidade da mesa da prensa, para conseguir fixar a cabeça da mistura no molde

3.2. Métodos

Uma vez que se pretende otimizar o processo com vista a grandes séries, utilizou-se a injeção do Capô do Mobi para se estudar o processo e perceber possíveis melhorias que tornasse o processo mais eficiente.

Aproveitou-se ainda a produção de outras peças em DCPD RIM, que decorriam durante a realização deste trabalho, para complementar este estudo. Uma vez que as peças atualmente injetadas fazem parte de pequenas séries, faz-se um levantamento de pequenas alterações que podem ser implementadas.

Desta forma foi possível:

- Acompanhar as injeções de algumas peças;
- Verificar as dificuldades do processo;
- Levantar resultados;
- Observar as alterações realizadas às peças e/ou aos moldes para melhorar o enchimento da peça, a extração e reduzir empenos;
- Analisar o projeto do molde, peça, rebarba, gate, reservatório e vedação;
- Simular a injeção;
- Digitalizar as peças;
- Controlar as cotas funcionais e pesagem;
- Ver as etapas de acabamentos das peças;
- Caracterizar os defeitos típicos das peças e respetivas reparações.

3.2.1. Acompanhamento das injeções

Durante a injeção das peças, foi possível fazer o levantamento dos parâmetros de injeção, (tempos, velocidades e temperaturas). Observaram-se as dificuldades do processo, relacionadas com o enchimento e extração da peça. Também são referidos aspetos relacionados com a fixação do molde à prensa e alterações relacionadas com os equipamentos de forma a melhorar a injeção das peças.

3.2.2. Simulação

A formulação do DCPD RIM torna difícil a simulação do processo, devido às diferentes variáveis envolvidas, a rapidez da reação e o desconhecimento das leis do material. Assim, apesar de os *softwares* possuírem um Módulo RIM, as suas formulações não estão preparadas para simular o comportamento deste material.

No entanto para retirar algumas conclusões relativamente ao enchimento foram feitas simulações rápidas, observando-se possíveis locais de aprisionamento de ar, zonas a encher em primeiro lugar e em último, para obter uma indicação de onde se devem inserir os reservatórios.

3.2.3. Digitalização

Por forma a analisar as peças, as mesmas foram digitalizadas e posteriormente comparadas com os modelos CAD. As peças foram digitalizadas com os equipamentos COMET LED – 2M, da Steinbichler, Figura 59 e o T-SCAN 3, Figura 60.

O COMET L3D – 2M Steinbichler, ficha técnica no Anexo N, é compacto, ultra portátil e um eficiente sensor 3D que utiliza uma inovadora técnica de iluminação LED para uma eficaz

captação de dados 3D, de uma forma fácil, rápida e exata. É uma solução económica e ideal para utilizadores, que pretende usufruir do vasto espectro da técnica de medição ótica, sem restrições relativamente à tecnologia, eficiência e qualidade de dados.



Figura 59 – Equipamento de digitalização - COMET L3D – 2M Steinbichler (Steinbichler).

O T-SCAN 3, Anexo O, é um *scanner* a laser, de alta precisão, é um *scanner* de mão para aplicação industrial de alta qualidade. É compacto, ergonómico, leve e permite ao utilizador captar facilmente as coordenadas 3D de peças grandes, sem desgaste físico.



Figura 60 – Equipamento de digitalização - T-SCAN 3 Steinbichler (Steinbichler).

Ambos os equipamentos são usados em diversas áreas, para controlo de qualidade de peças pequenas e médias de plástico ou metal, que permite a medição de objetos finos e frágeis. Permite ainda a digitalização 3D de superfícies brilhantes, foscas, pretas ou metálicas (Steinbichler).

Os respetivos *softwares* COMETPlus e T-SCANplus, permite fazer a captura de dados resultantes da digitalização, obtendo uma nuvem de pontos. Após a captura da peça transforma-se a nuvem de pontos numa malha de triângulos - STL. Para se realizar a análise de controlo dimensional ou de forma, recorre-se ao *software* INSPECTplus (Steinbichler), que permite analisar os desvios da peça resultante da digitalização em comparação com o CAD nominal da mesma, Figura 61.

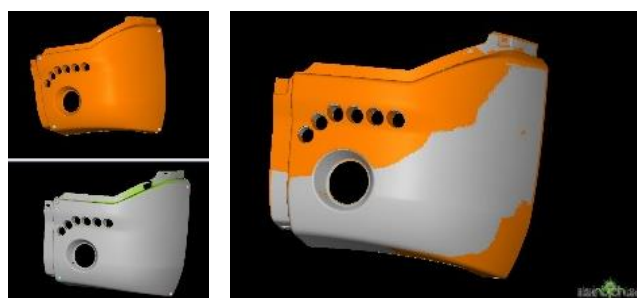


Figura 61 – Alinhamento do cad (a laranja) e do stl (a cinzento), lado esquerdo, seguida da sobreposição dos dois, lado direito.

A avaliação das espessuras das peças digitalizadas é feita através do programa Rapid form 2006, *software* de processamento de dados de peças físicas. Segundo as recomendações da Telene, nas peças entre 3 e 4 mm de espessura deve-se aplicar uma contração de 0.85 %, entre 5 e 7 mm uma contração de 0.90% e no caso de espessuras superiores aplica-se 1% de contração. Fazendo uma avaliação das espessuras pode-se averiguar se a contração está bem aplicada.

3.2.4. Controlo de cotas funcionais e peso das peças

Fizeram-se medições para controlo dimensional de cotas funcionais e registou-se o peso de diferentes peças. De referir que, os valores de contração recomendados em função da espessura foram obtidos experimentalmente.

3.2.5. Acabamentos das peças

Os acabamentos realizados em peças DCPD consistem em tramar, lixar, aplicação de primário e pintura. São também referidas as reparações necessárias para corrigir alguns defeitos. Para preencher locais da peça com falta de material, é utilizado o Kit reparador Q – Bond, Figura 62, Anexo P, constituído por dois frascos de pó (para preenchimento do furo) e de Adesivo. Esta mistura que seca num minuto, pode ser aplicada em diversos materiais, em particular no



Figura 62 – Kit reparador Q – Bond (JWRross).

DCPD. O reparador Q – Bond depois de solidificar pode ser lixado e pintado (JWRross).

Depois do uso do kit reparador, as peças são lixadas e levadas para a estufa para serem pintadas. Aí foi aplicado um desengordurante, anti silicone, Figura 64, para remover gorduras, óleos e água da superfície da peça (Robbialac), antes de ser aplicado o primário. O primário Selemix



Figura 64 – Desengordurante Anti Silicone (Robbialac).



Figura 63 – Primário Selemix 7-530 (PPG).

7-530, Figura 63, é um esmalte de poliuretano que pode ser aplicado diretamente nos substratos, no caso em particular no DCPD (PPG).

Este esmalte é necessário para que, depois de lixado, se possa aplicar o betume que vai tapar defeitos. A peça é lixada superficialmente, sem que volte a aparecer o substrato, DCPD. O betume não deve ser aplicado diretamente neste material, porque em contacto direto não seca, como foi comprovado anteriormente, por experiências realizadas pelos técnicos responsáveis pelos acabamentos.

O betume utilizado é o Betume Poliester, Rapid Stopper U1080 da Standox, Figura 65, (Standox). A base de estireno, tem excelente adesão a todos os substratos e é fácil de lixar. Tem boa resistência ao afundamento vertical e seca ao ar em aproximadamente 15 minutos.

Depois de secar o betume e voltar a lixar a peça, pode finalmente ser aplicado o esmalte acrílico Selemix 7-110, Figura 66, cor metalizada e brilho direto. Esta pintura assegura uma boa resistência à exposição atmosférica (PPG).

Por último faz-se um levantamento dos defeitos típicos das peças em estudo, que podem ser explicados pelo aprisionamento de ar, incorreto enchimento da peça, má reticulação, etc.



Figura 65 – Betume Poliester, Rapid Stopper U1080 da Standox (Standox).



Figura 66 – Esmalte Acrílico Selemix 7-110 (PPG).

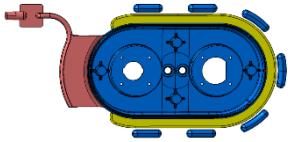
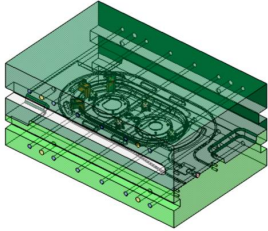
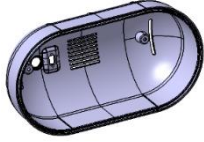
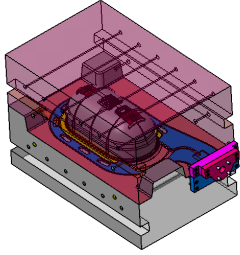
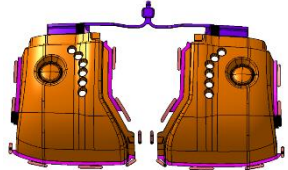
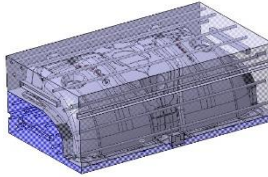
4. Resultados e Análise

4.1. Peças em estudo

As peças que foram estudadas são as seguintes: a frente e a traseira de um poste elétrico – Magnum Cap Frente e Traseira; lateral de um autocarro – Canto; Guarda-lamas e capô -Bonnet. Do Anexo Q ao Anexo U encontram-se desenhos 2D, das peças e moldes.

Seguem-se algumas características das peças e respetivos moldes, Tabela 14, e as alterações realizadas a duas das peças e estudo, Tabela 15. Fez-se também o levantamento das massas das peças, *gates*, reservatórios e *flash*, Tabela 16, através do *software* Catia.

Tabela 14 – Peças em estudo, versões iniciais.

Peça - 3D	Peça + gate + flash + reservatórios	Dimensões do Molde	Características
Magnum Cap Frente	1 Peça 	 700x450x313.7	- frente do poste elétrico; - tem 4 insertos metálicos, colocados no molde antes injeção.
Magnum Cap Traseira (Inicial)	1 Peça 	 700x450x487.8	- traseira do poste elétrico;
Canto	1 Peça + peça espelho 	 1200x700x433	- molde com duas cavidades, para injetar uma peça direita e esquerda; - peça com bastante curvatura; - molde com postigos pesados colocados à mão para fazer abas com contra-saida; - insertos metálicos nas 4 saliências.

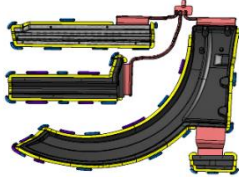
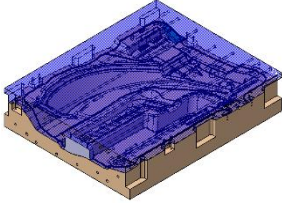
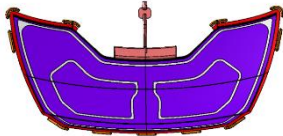
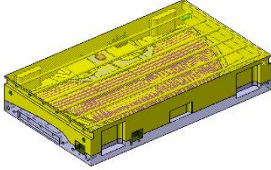
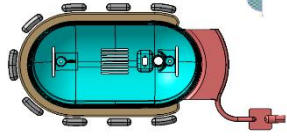
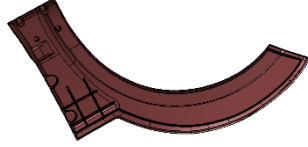
Guarda-lamas – (inicial)	<p>4 Peças diferentes – guarda-lamas e peça técnica nº1, 2 e 3.</p> 	 <p>1150x950x247</p>	<p>- molde com quatro peças diferentes, 1 guarda lamas e mais 3 peças técnicas; a gate principal enche o guarda lamas e as peças técnicas 1 e 2</p>
Bonnet	<p>1 Peça</p> 	 <p>1200x710x209</p>	<p>- peça simples, com três faixas ligeiramente mais estreitas onde será colada uma estrutura metálica</p>

Tabela 15 – Peças em estudo com alterações.

Peça 3D alterada		Alterações	Objetivo
Magnum Cap Traseira (Alteração)	<p>1 Peça</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - a altura dos castelos foi reduzida; - acrescentou-se ribs para facilitar o enchimento. 	<p>melhorar o enchimento da peça. Na primeira versão da peça, os castelos não ficavam preenchidos com material.</p>
Guarda-lamas (Alteração)	<p>Guarda lamas com ribs</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - alteração no molde, de forma a adicionar ribs ao guarda-lamas. 	<p>reforçar a peça e reduzir o empeno.</p>

As peças alteradas foram injetadas no mesmo molde da versão inicial das mesmas, com o molde a sofrer as alterações necessárias para reproduzir essas mesmas alterações na peça.

Todas as peças em estudo apresentam maioritariamente 3 mm de espessura, ainda que apareçam algumas extremidades ligeiramente mais finas e outras partes mais espessas.

Tabela 16 – Massas das peças em estudo, *gates*, reservatórios e *flash*.

Peça/Massa	Peça [kg]	Gate [kg]	Peso [kg] / nº de Reservatórios	Flash [kg]
Magnum Cap Frente	0,466	0,059	0,068 / 7	0,008

Magnum Cap Traseira (inicial)	1,043	0,061	0,074 / 9	0,008
Magnum Cap Traseira (alteração)	1,038	0,061	0,074 / 9	0,008
Cantos (2)	2,116	0,122	0,12 / 18	0,019
Guarda-lamas (Inicial - sem ribs)	1,348	*0,151	**0,132 / 35	0,03
Guarda-lamas (Alteração - com ribs)	1,412	*0,151	**0,132 / 35	0,03
Bonnet	1.30	0,079	0,077 / 11	0,013

*gate principal

**massa e número total dos reservatórios em redor das 4 peças.

4.2. Análise experimental

Apresentam-se os resultados obtidos nos procedimentos de injeção, simulação, digitalização, controlo de cotas dimensionais e pesos, identificação de defeitos e acabamentos das peças.

Os cálculos efetuados para determinar o volume de reservatórios, correspondem a 5% da massa da peça e da *gate*, Anexo V. Em função das *guidelines* da Telene (velocidade máxima na *gate* recomendada e de acordo com a espessura da peça em causa) e da taxa de reação, determina-se o tempo de injeção previsto, assegurando um Re inferior a 10 e uma queda de pressão mínima de 1.5 bar. Seguem-se algumas imagens do molde do Bonnet, fixado à prensa, durante a abertura da prensa, Figura 69, durante o fecho, Figura 67, e ainda após a primeira injeção Figura 68.

Fez-se uma estimativa do tempo de injeção das peças, para uma taxa de injeção média de 500 g/s da mistura de 250 g/s do componente A e a mesma quantidade de componente B. Obteve-se os seguintes tempos máximos estimados de injeção, tendo em conta o enchimento da *gate*, peça e reservatórios, Tabela 17. No Anexo X encontram-se as folhas excel com os respetivos cálculos. Estes valores servem para averiguar se os tempos usados durante a injeção vão ao encontro do previsto.

Tabela 17 – Tempo estimado de injeção das peças.

Peça	Massa total peças + <i>gate</i> + reservatórios	taxa de injeção = 500 g/s	tempo de injeção estimado [s]
Frente M. Cap	0,589		1,2
Traseira inicial	1,161		2,3
2 Cantos	2,435		4,9
Guarda-lamas sem ribs	2,18		4,4
Bonnet	1,438		2,9



Figura 69 – Molde fixo à prensa hidráulica aberta.



Figura 68 – Primeira injeção - tempo de injeção de 1 segundo.

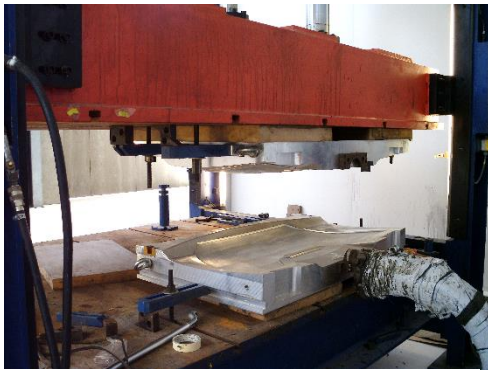


Figura 67 – Fecho da prensa antes de iniciar a injeção.

4.2.1. Simulação

Importou-se as diferentes peças em estudo mais as respetivas gates e seleccionou-se os pontos de injeção na extremidade das *gates*. A malha seleccionada foi uma malha solid 3D.

Seguem-se as peças estudadas e os resultados das simulações, enchimento das peças e possíveis locais de aprisionamento de ar.

Magnum Cap Frente

Na Figura 71 observa-se a peça e *gate* importadas para o *software Moldflow* e na Figura 70 a malha realizada:

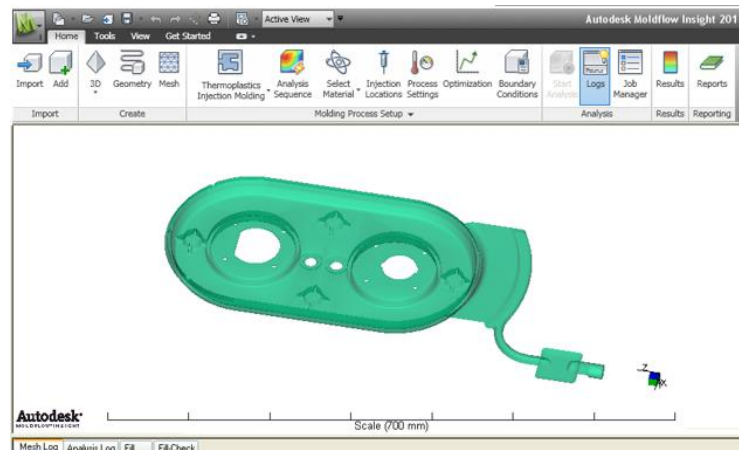


Figura 71 – Peça e gate importadas para o software Moldflow.

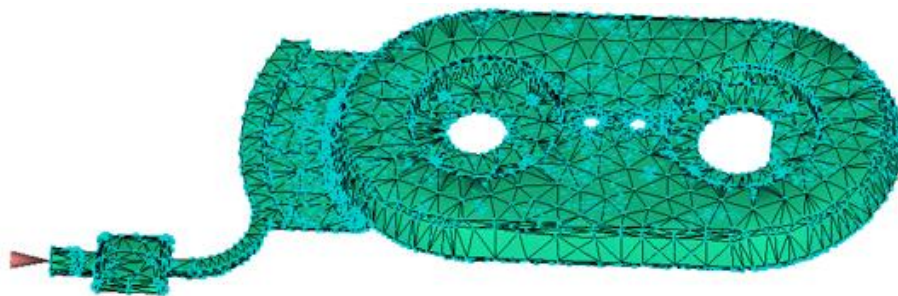


Figura 70 – Malha da peça a simular.

Realizada a geração da malha fez-se a simulação e registou-se os resultados, relativamente ao tempo de enchimento - *Fill Time* e Ar aprisionado - *Air traps*.

Tempo de enchimento:

Para o tempo de enchimento estabelecido, vê-se o comportamento do fluxo durante o enchimento, Figura 72 ,*frames* no Anexo AA.

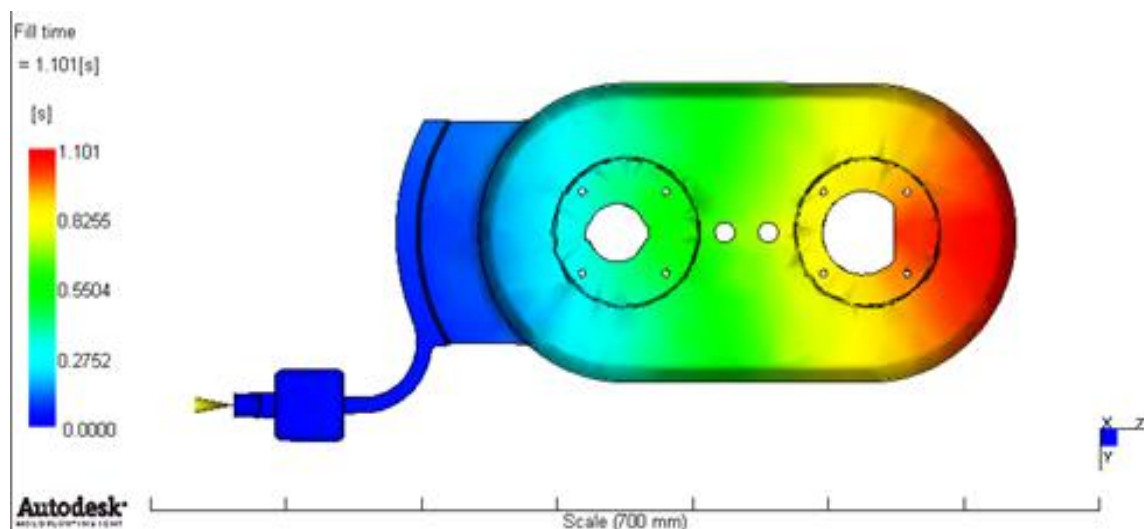


Figura 72 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.

Ar aprisionado:

Observam-se os locais de aprisionamento de ar, junto às nervuras e aos furos centrais, Figura 73:

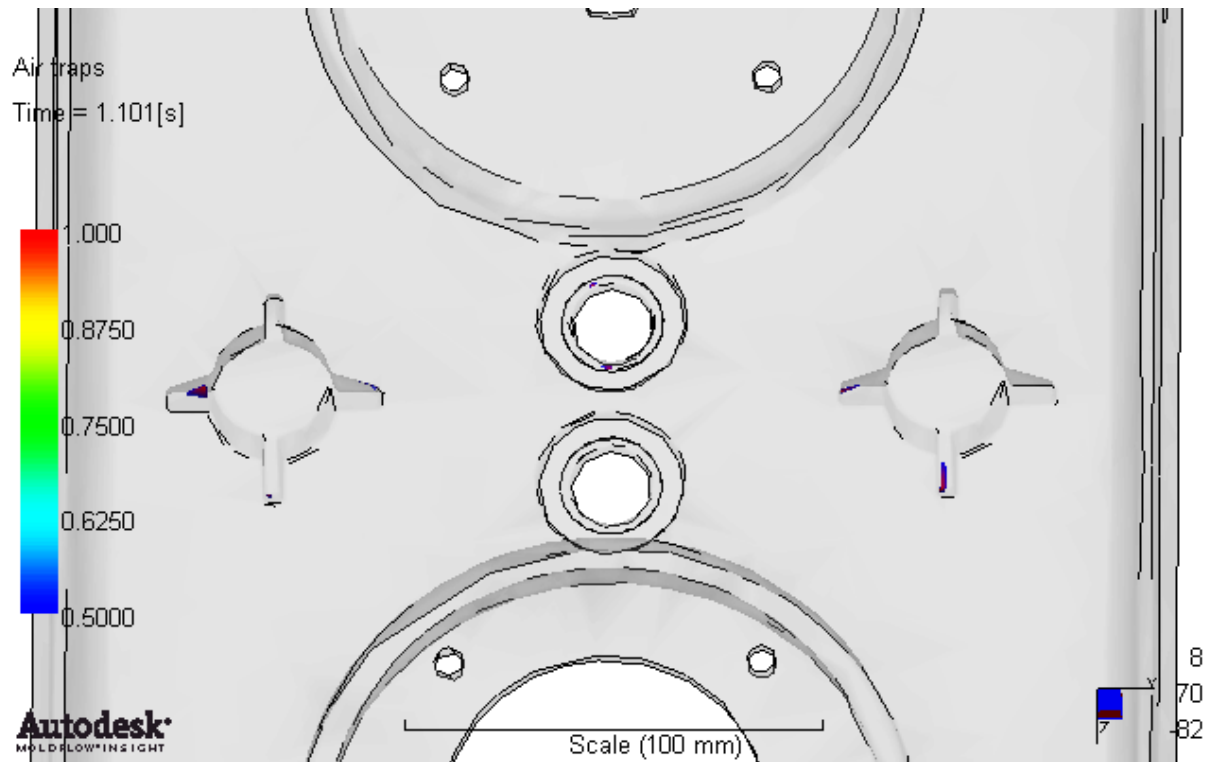


Figura 73 – Locais de aprisionamento de ar.

Magnum Cap Traseira inicial

Para a peça Traseira versão Inicial observa-se o tempo de enchimento, Figura 74 (*frames* no Anexo AA), e o aprisionamento de ar, Figura 75.

Tempo de enchimento – Fill Time:

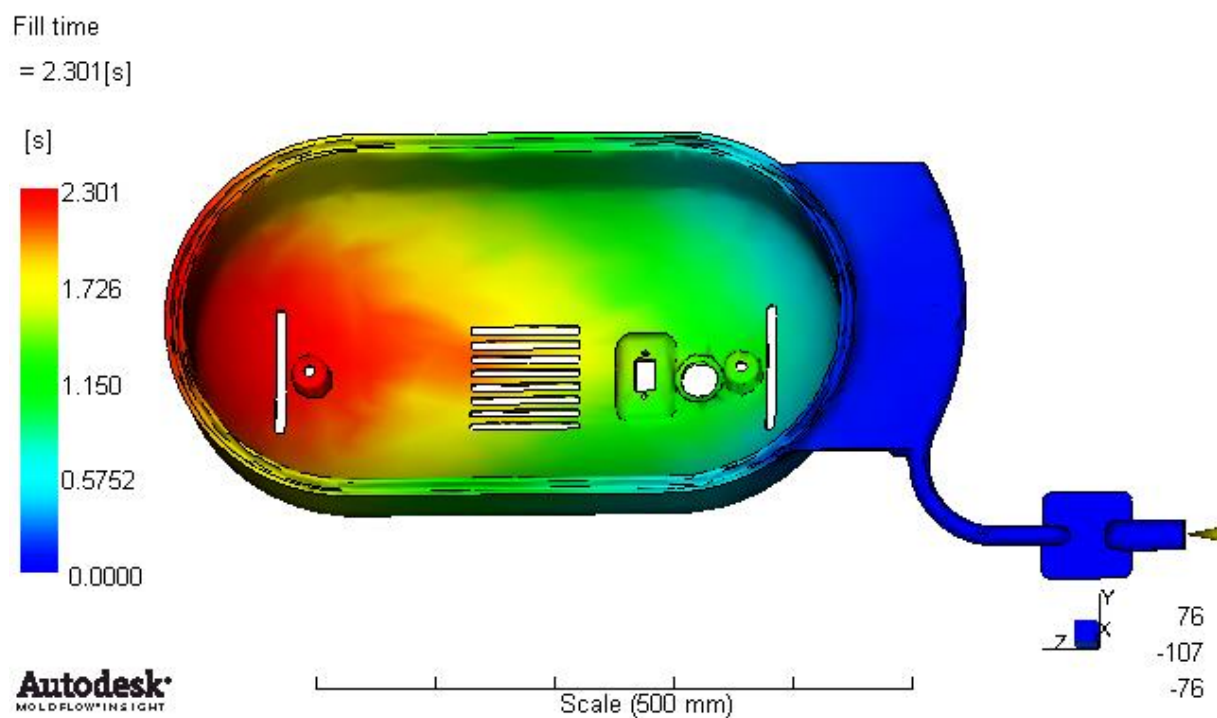


Figura 74 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.

Ar aprisionado – Air traps

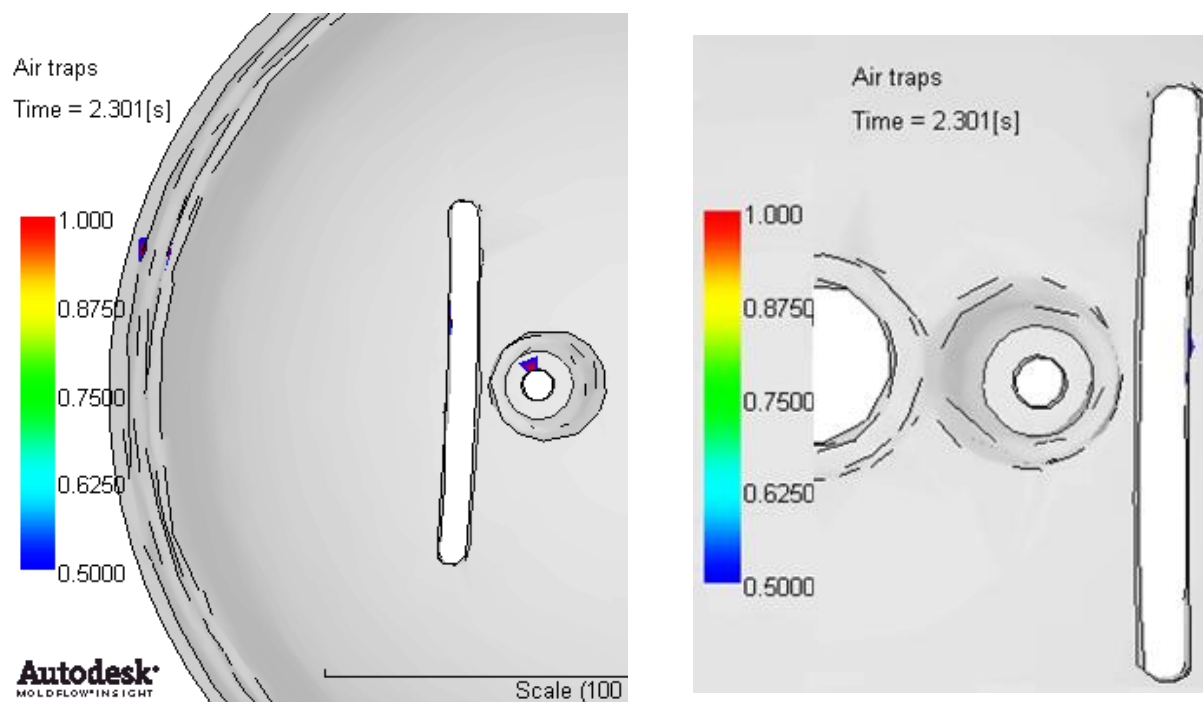


Figura 75 – Locais de aprisionamento de ar.

Magnum Cap Traseira alterada

Para a peça Traseira versão Alterada observa-se o tempo de enchimento, Figura 76 (frames no Anexo AA), e o aprisionamento de ar, Figura 77. **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Tempo de enchimento – Fill Time:

Fill time

= 2.301[s]

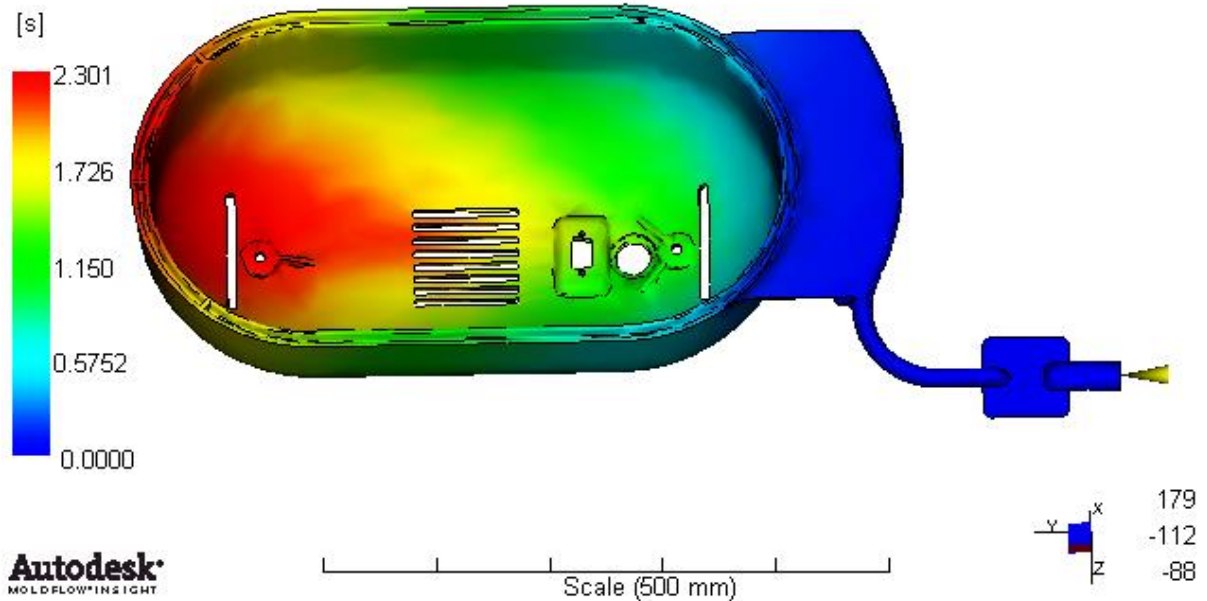


Figura 76 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.

Ar aprisionado – Air traps

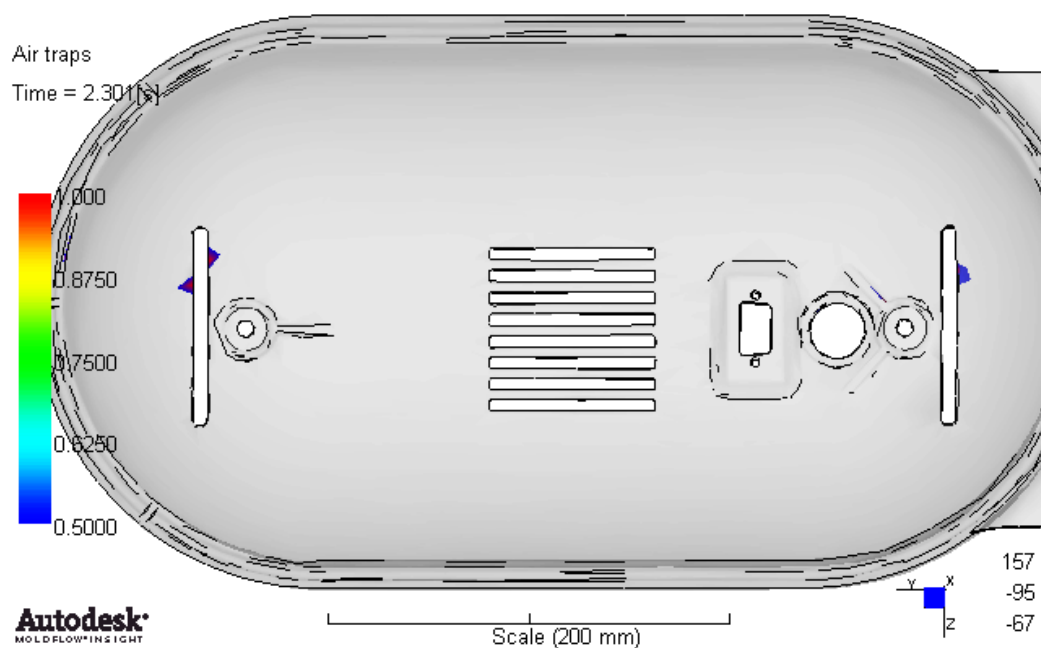


Figura 77 – Locais de aprisionamento de ar.

Com as alterações realizadas na peça, observa-se que o ar aprisionado varia de local.

No caso da peça alterada, a altura dos castelos foi reduzida e já não se verifica aprisionamento de ar. No entanto aumenta o aprisionamento em redor dos rasgos.

Bonnet

Para o Bonnet observa-se o tempo de enchimento, Figura 78 (*frames* no Anexo AA), e o aprisionamento de ar, Figura 79.

Tempo de enchimento – Fill Time:

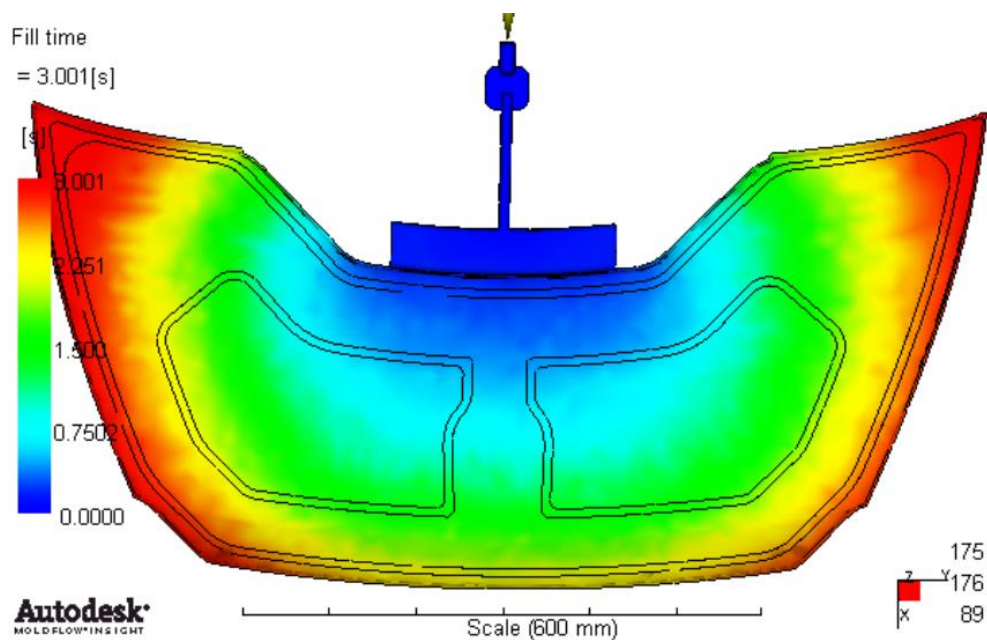


Figura 78 – Tempo de enchimento da peça, escala de distribuição temporal.

Ar aprisionado – Air traps

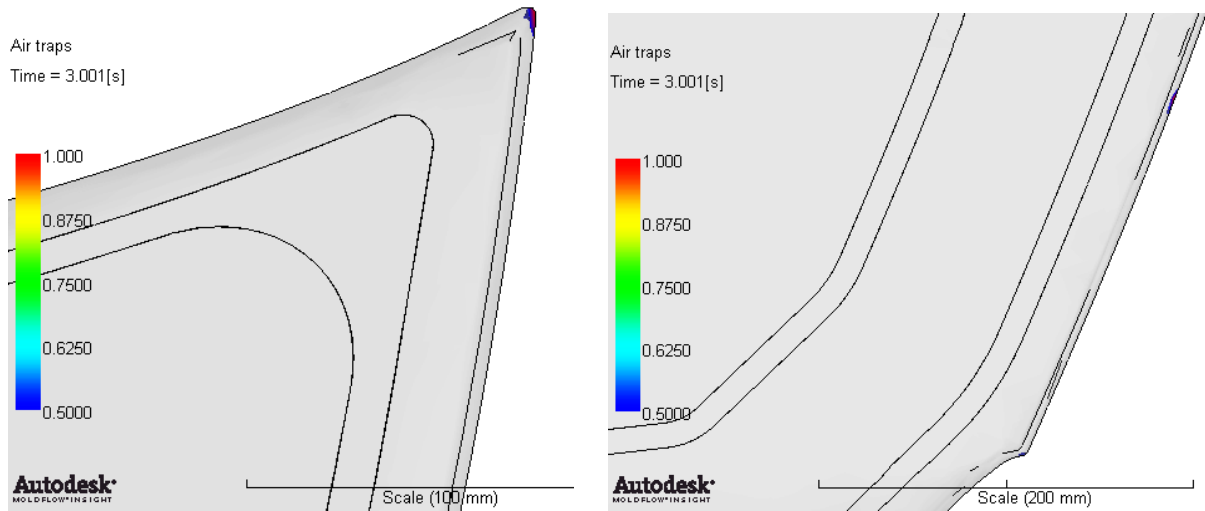


Figura 79 – Locais de aprisionamento de ar.

Análise

Alguns defeitos encontrados nas peças coincidem com alguns dos locais de aprisionamento de ar determinados pelas simulações. Os locais típicos de ar aprisionado são em nervuras, em redor de furos, nas saliências e algumas extremidades das peças.

Segundo as simulações com a redução da altura das saliência podem-se evitar aprisionamento de ar nesses locais, esta informação teria de ser averiguada uma vez que não está a ser tido em conta a contração do material.

Na prática para solucionar o ar aprisionado nas saliências, também são criados pequenos canais (ainda mais salientes), onde o ar se acumula e onde se aloja o defeito, que posteriormente é cortado. No caso do aprisionamento de ar nas extremidades das peças (observadas nas simulações) é resolvido com a introdução de reservatórios em redor desses locais, para assegurar o escape do ar acumulado e o enchimento completo da peça.

Os reservatórios estão a ser colocados nas últimas zonas a encher e junto de locais prováveis de aprisionamento de ar, tudo indica que estão bem posicionados.

4.2.2. Injeção das peças

Segue-se os dados relativamente as injeções das peças em estudo.

Bonnet

No caso do molde do bonnet, este não apresenta sistema de passagem de água, desta forma o modo de aquecer o molde foi por condução através de outro molde. Assim as temperaturas conseguidas rondavam os 45 °C nas duas cavidas. Foi utilizada uma taxa de injeção de 550 g/s (275 g/s de cada componente), os componentes encontravam-se a 21 °C e foram misturados à pressão de 100 bar.

Tempo de injeção

Segundo a malha da peça, este tem 1,38 kg. Segue-se um registo das primeiras oito injeções, sempre para uma taxa de 550 g/s, Tabela 18, e as peças resultado das primeiras seis injeções, Figura 80.

Tabela 18 – Registo das primeiras 8 injeções do Bonnet.

Peça	Tempo de injeção (s)	Taxa de injeção (kg/s)	Tempo de cura (s)	Peso antes de trimar [kg]	Peça boa/má
1ª injeção	1	0,550	~120	0.550	má
2ª injeção	2.6	0,550	~120	1.35	má
3ª injeção	2.9	0,550	~120	1.55	boa
4ª injeção	3	0,550	~120	1.55	má
5ª injeção	3.2	0,550	~120	1.70	boa
6ª injeção	3.2	0,550	~120	1.70	má
7ª injeção	3.25	0,550	~120	-	má
8ª injeção	-	0,550	~120	-	má



Figura 80 – Peças desde a primeira até a sexta injeção.

De referir, que o tempo estimado de injeção, neste trabalho, de preenchimento da peça e *gate* seria de 2.45s, para uma taxa de injeção de 550 g/s, no caso de se contabilizar os reservatórios estamos a falar de um tempo de injeção de 2.61s.

Para tirar a primeira peça boa, foi injetado material a uma taxa de 0,550 kg/s, durante 2.9 segundos, que corresponde a 1,595 kg de material.

Assim conclui-se, que foi necessário injetar mais material durante 0,29 segundo a mais (2.9-2.61 s), para tirar a primeira peça boa. Esta peça foi pesada e a sua massa antes de trimar era de 1,55 Kg, o que faz com que 0,045 kg tenha sido material que saiu do molde, ou ficou acumulado na *flash* ou em algum reservatório preenchido que não tenha sido pesado.

Para a 2ª peça boa foi necessário injetar material durante 3.2s, o que levou a um aumento de preenchimento de reservatórios.

Temperatura do molde

Em relação as temperaturas na injeção do Bonnet, o molde encontrava-se a aproximadamente 45°C, temperaturas iguais em ambas as cavidades, algo diferente do recomendado para o processo 60 – 80°C, cada cavidade. Uma vez que a 4ª injeção já apresentava uma boa qualidade superficial, pode especular-se que, por um lado não é necessário temperaturas do molde tão elevadas para injetar peças com boa qualidade superficial, e que a reação exotérmica é suficiente para manter estável e até aquecer ligeiramente a temperatura superficial do molde, e assim obter peças com boa qualidade.

Força de fecho

Uma vez que não havia indicação inicial do tempo necessário para encher o molde, as primeiras duas injeções foram de afinação do processo, até que à 3ª injeção se conseguiu tirar uma peça boa. Seria de esperar que as próximas peças injetadas fossem bem conseguidas, mas os problemas surgidos, relativos ao posicionamento do molde e forças de fecho fez com que as peças seguintes não seguissem o comportamento esperado.

4.2.2.1. Fixação dos moldes

A fixação dos moldes é um aspeto importante durante a injeção, por um lado porque a posição e a forma de fixação do molde pode ajudar ou atrapalhar o processo e por outro porque estão em causa questões de segurança.

Depois do molde ser posicionado na mesa da prensa, fecha-se a prensa, até atingir o molde. Pelas dificuldades relativas à prensa faladas anteriormente, na extremidade oposta à colocação do molde, são colocados cilindros de suporte, que ajudam a equilibrar as forças de fecho da prensa. Assim começa-se a fixar as duas meias metades. Seguem-se algumas imagens da fixação, Figura 81:



Figura 81 – Exemplos de fixação dos moldes à prensa.

Análise

Verificou-se que os reservatórios maquinados correspondiam aos calculados e projetados, correspondem aos 5% da peça mais a *gate*. Segundo as dimensões das *gates* e taxas de injeção usadas, verifica-se que a velocidade na *gate*, o número de Reynolds e a queda de pressão estão de acordo com as recomendações.

Verifica-se que as peças em causa de uma forma global têm espessuras inferiores a 7 mm, o que faz com que a velocidade na *gate* indicada seja no máximo de 4m/s.

Os tempos de injeção estão dentro do intervalo de tempos estimados ou ligeiramente superiores, traduzindo-se em maiores rebarbas ou material que sai do molde.

Verifica-se que para peças maiores, mais o material injetado, existem mais reservatórios e maiores desperdícios.

As injeções decorrem com os parâmetros de temperatura, pressão e tempos de cura de acordo com o previsto. Durante a injeção do Bonnet verificaram-se algumas diferenças, em particular em relação às temperaturas do molde. As temperaturas utilizadas foram inferiores às recomendáveis, mas não afetou significativamente a qualidade superficial da peça. Assim, não sendo necessário elevar a temperatura às temperaturas recomendadas, torna-se mais fácil e rápido o aquecimento do molde, o que do ponto de vista da produtividade e da economia do processo, será uma vantagem.

Uma alteração possível de ser feita aos pratos da prensa, era maquinar mais rasgos, para posicionar o molde de forma mais adequada, melhorando o fecho do molde, evitando desperdícios de material. Uma prensa basculante e um sistema automatizado, seria mais adequado para grandes séries, de forma a rentabilizar o tempo, melhorar as injeções e o resultado final das peças.

Nos anexos, apresenta-se o projeto das *gates* e reservatórios para os moldes das diferentes peças e os cálculos de velocidade de injeção e queda de pressão na *gate*. Estão registados as massas obtidas nos cad's das peças, *gates*, reservatórios e estimativas de tempos de injeção. Fez-se também um levantamento das condições de processamento das injeções de peças boas.

4.2.3. Digitalização

A digitalização das peças tem como objetivo ajudar a perceber se há diferenças entre os projetos das peças e as peças finais, ver os desvios entre os ficheiros (Cad do projeto da peça e stl da peça final) e avaliar deformações das peças. É possível também avaliar as espessuras das peças e averiguar se a contração está bem aplicada.

Canto

Começa-se por mostrar o registo da construção da peça através dos vários *snapshots*, com o *software* COMETplus. Após a primeira imagem, é necessário fazer o alinhamento entre as várias imagens capturadas, Figura 82, que pode ser automática ou manualmente.

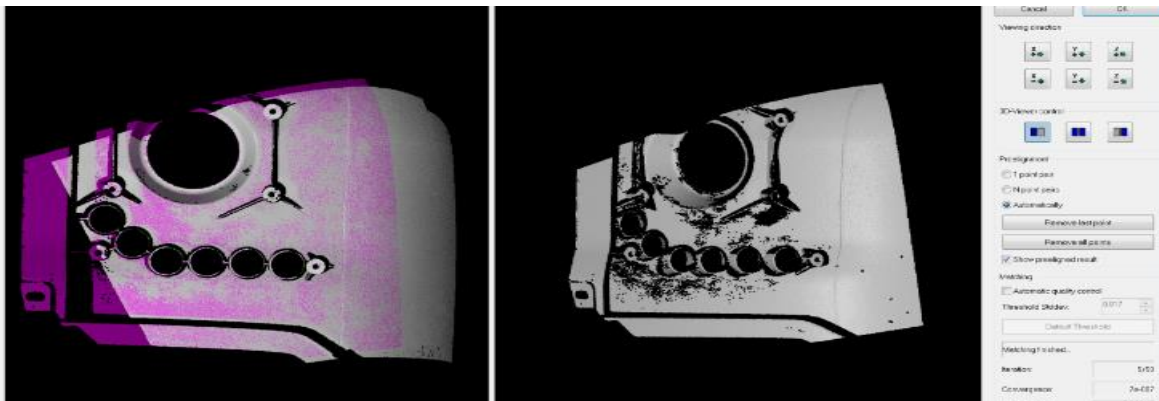


Figura 82 – Alinhamento e sobreposição com pontos de referência entre a digitalização realizada e as anteriores.

Segue-se o stl, resultado de sobreposição de todos os *snapshots*, Figura 83. O *software* Inspect é alimentado com o stl da peça digitalizada e com o cad da peça.

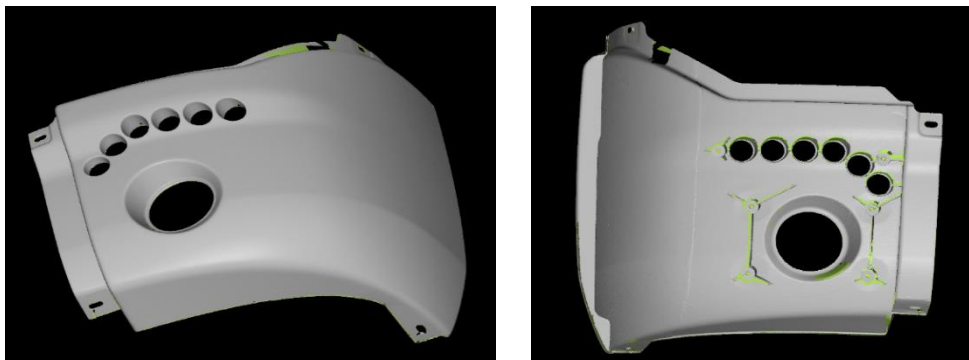


Figura 83 – Duas posições do stl da peça canto digitalizada.

Além do stl, carrega-se o *software* com o cad da peça, Figura 84, para se fazer um pré-alinhamento manual ou automático, seguido de um melhoramento *best fit* dos dois ficheiros. Seguem-se os resultados obtidos:

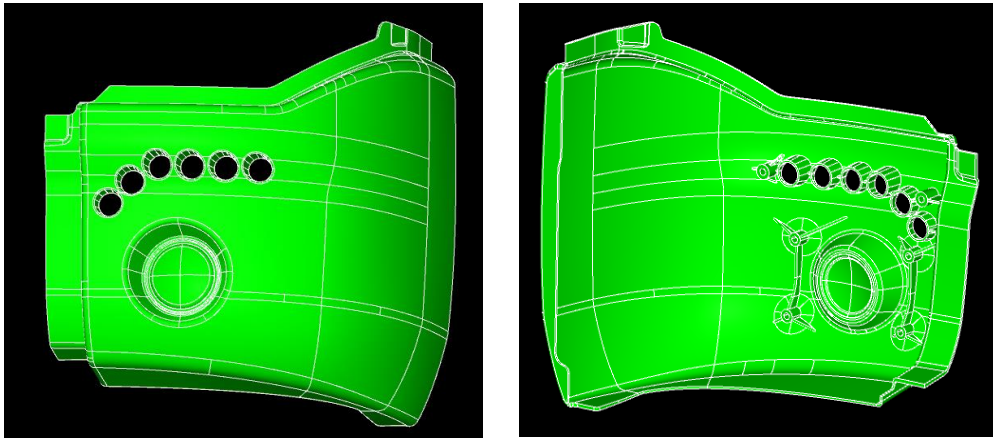


Figura 84 – Duas posições do cad da peça canto.

-Sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça:

Em relação ao resultado da sobreposição do stl e cad da peça observa-se o seguinte, Figura 85:

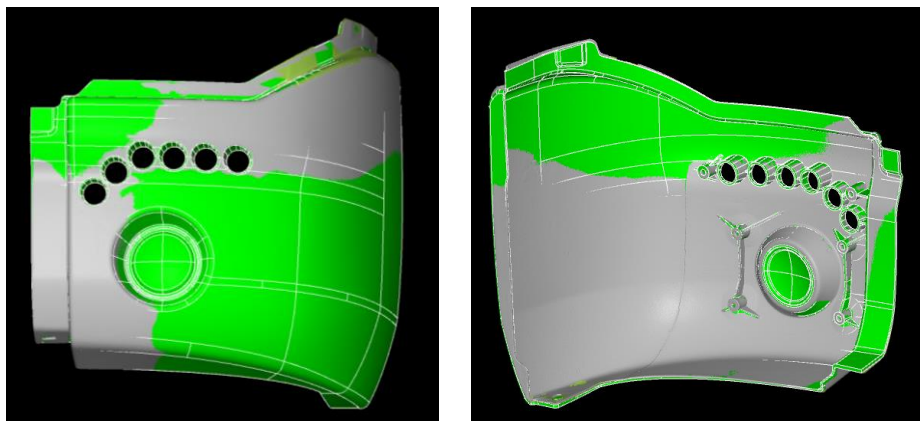


Figura 85 – Duas posições da sobreposição.

-Análise da sobreposição:

O relatório de comparação desta peça e das que se seguem, encontram-se parcialmente no Anexo AB.

Para a peça Canto, observam-se duas imagens, da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -3 e 3mm, Figura 86.

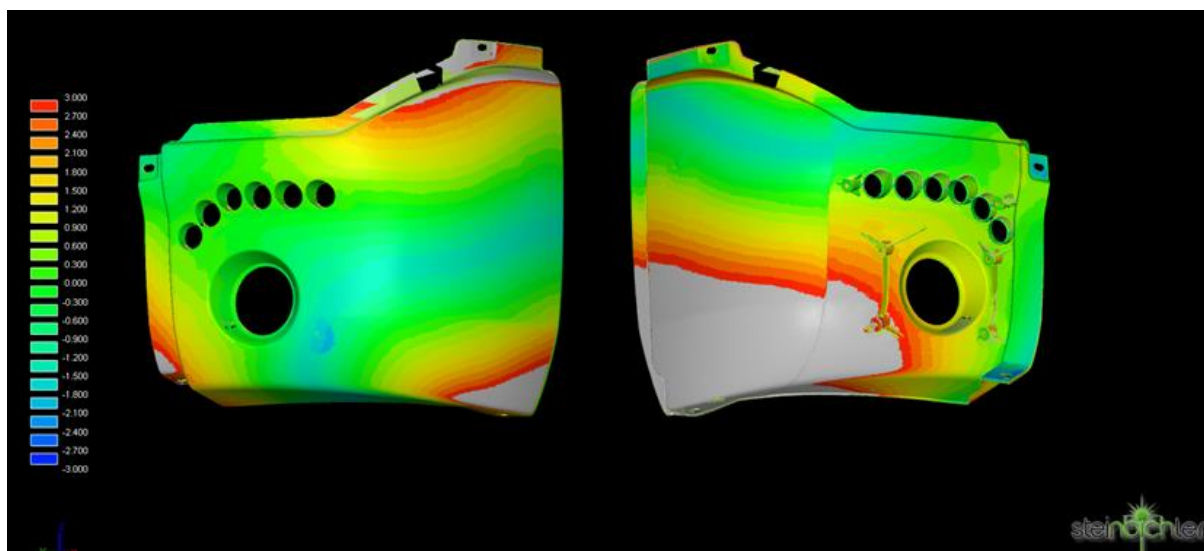


Figura 86 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -3 e 3 mm.

Os locais com desvios negativos de ambos os lados da peça (falta de material), aparecem sobretudo na abas com furos, mas uma vez que estas haviam sido lixadas, a pedido do cliente para reduzir essa mesma espessura, é normal o resultado observado.

Em relação aos seis furos com o mesmo diâmetro e o furo maior, observa-se que de ambos os lados os desvios são mínimos.

Os maiores desvios progridem com a curvatura da peça (dos furos para a aba em contra saída, Figura 87). Na parte superior, de um dos lados há desvios positivos, do outro lado observam-se desvios entre zero e pouco negativos. Neste caso pode haver ligeiras variações de espessura e também de posicionamento.

Na área a cinzento, que tanto de um lado da peça como do outro convergem para desvios positivos, os valores mais acentuados estão do lado interior da peça, o que leva a entender que a peça está mais fechada que a sua posição natural, eventualmente derivado a algumas deformações, ou provocada pela posição da peça durante a digitalização.

Na aba em contra saída, observa-se que de cima para baixo, do lado exterior da peça, há um desvio crescente, que acompanha o desvio da curvatura da peça, a mesma tendência observa-se na aba inferior.

De reparar que se observa uma linha a meio da peça, visível do lado interior, que provoca um desnível entre os desvios. Isto porque, nesta zona existe um postigo, há o aparecimento de rebarba nessa linha, e a força exercida pelo postigo está a reduzir os desvios em relação a outra metade da peça.

Na frente observa-se uma mancha redonda azulada com -1.95mm de desvio, devido a falta de material, que coincide com a bolsa

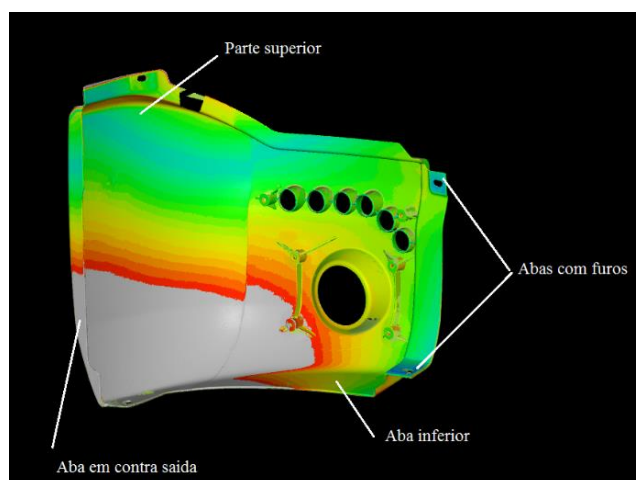


Figura 87 – Localização de algumas partes da peça.

de material que está em excesso do lado oposto. Pode-se justificar que se trata de um rechupe causado pela saliência (bolsa de material), devido a variação de espessuras.

-Análise das espessuras da peça digitalizada:

Segue-se o resultado da análise de espessura da peça Canto, Figura 88:

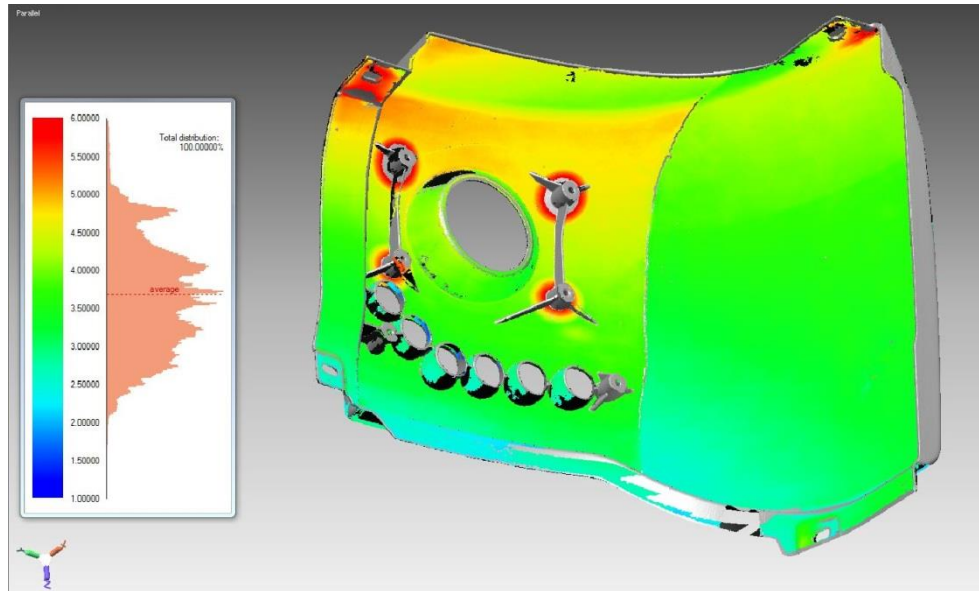


Figura 88 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.6 mm, duas posições da peça.

Se a contração da peça for em função da espessura média, então uma vez que a média é de 3.6 mm a contração aplicada deveria ser de 0.85%, se se tiver em conta a espessura máxima que neste caso chega aos 6 mm a contração seria de 0.90%. Mas se se considerar que às saliências de 10 mm de altura, corresponde uma espessura com o mesmo valor, então para este máximo, a contração indicada é de 1%.

Magnum Cap Frente

O cad da peça, foi utilizado para comparar duas peças digitalizadas, uma injetada há mais tempo que a outra. Apesar do cad de comparação ser o mesmo, a peça mais antiga tem um furo com geometria diferente da do projeto.

-Análise da sobreposição da peça mais antiga:

Para a peça Frente mais antiga, observam-se duas imagens, da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -1 e 1mm, Figura 89:

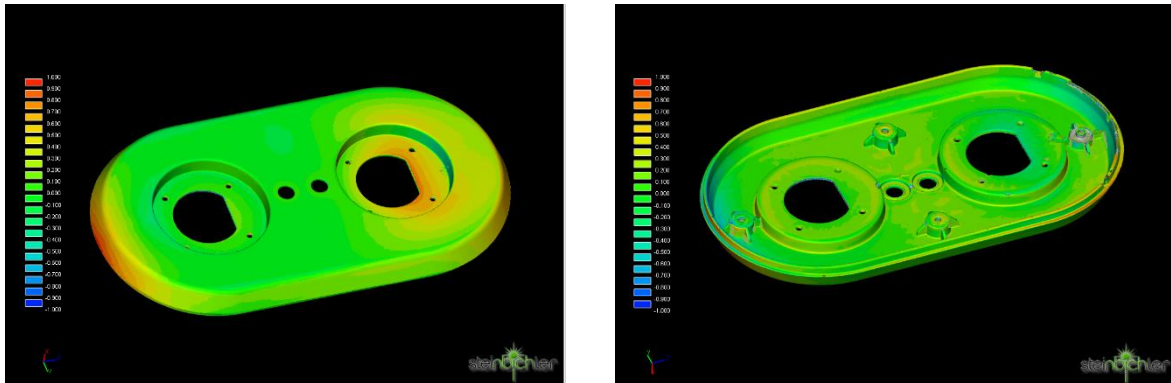


Figura 89 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

As maiores variações encontram-se no contorno da peça, no seu comprimento. Do lado de fora há desvios positivos, do lado de dentro há desvios negativos. Dá a entender que, as abas que contornam as zonas curvas da peça, estão com uma inclinação diferente do previsto, ligeiramente mais abertas, visto do interior, pode-se traduzir num maior comprimento.

-Análise das espessuras da peça mais antiga digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça Frente mais antiga, Figura 90:

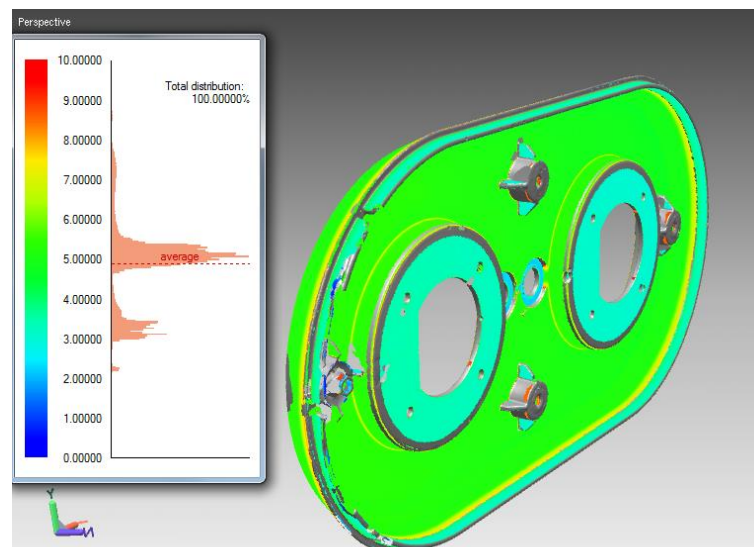


Figura 90 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 4.8 mm.

Para uma espessura média de 4.8 mm, se a contração for em função de uma espessura média então a contração indicada seria de 0.90%. No caso de se considerar a espessura máxima, uma vez que a espessuras em algumas zonas ultrapassa os 7 mm, então a contração adequada é de 1%.

-Análise da sobreposição da peça mais recente:

Para a peça Frente mais recente, observam-se duas imagens, da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -1 e 1mm, Figura 91:

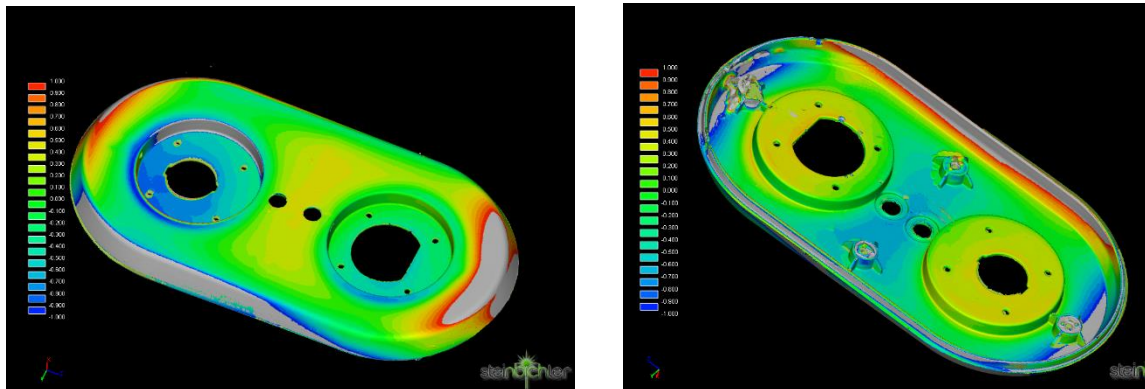


Figura 91 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

Primeira observação é que a peça mais antiga, injetada há mais tempo, apresenta menos desvios. Os furos apresentam variações de espessura, falta de material no exterior, excesso no interior, de forma não linear. Para além das abas que contornam as zonas curvas da peça estarem com uma inclinação diferente do previsto, os desvios ao longo da largura da peça também variam, dando a entender que a peça está torcida. O centro da peça, entre furo, do lado exterior apresenta um desvio de aproximadamente 0,43 mm enquanto no interior é de -0.62 mm, assim neste sítio a espessura que deveria de ser de 3 mm é de 2,81mm ($3 - 0.62 + 0.43$). É possível que a forma como a extração da peça é feita, possa influenciar os desvios apresentados. Por exemplo, se a peça for extraída por um dos lados com auxílio de uma ferramenta que provoque este comportamento.

-Análise das espessuras da peça mais recente digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça Frente mais recente, Figura 92:

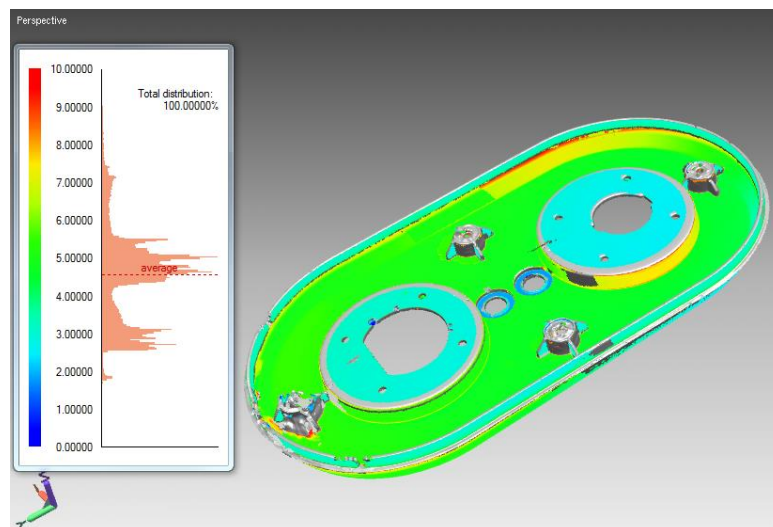


Figura 92 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 4.5 mm.

Para uma espessura média de 4.5 mm, a contração indicada seria de 0.90%. No caso de se considerar a espessura máxima, superior a 7 mm, a contração adequada é de 1%.

Magnum Cap Traseira

-Análise da sobreposição da peça inicial:

Para a peça Traseira inicial, observam-se duas imagens, da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -1 e 1mm, Figura 93:

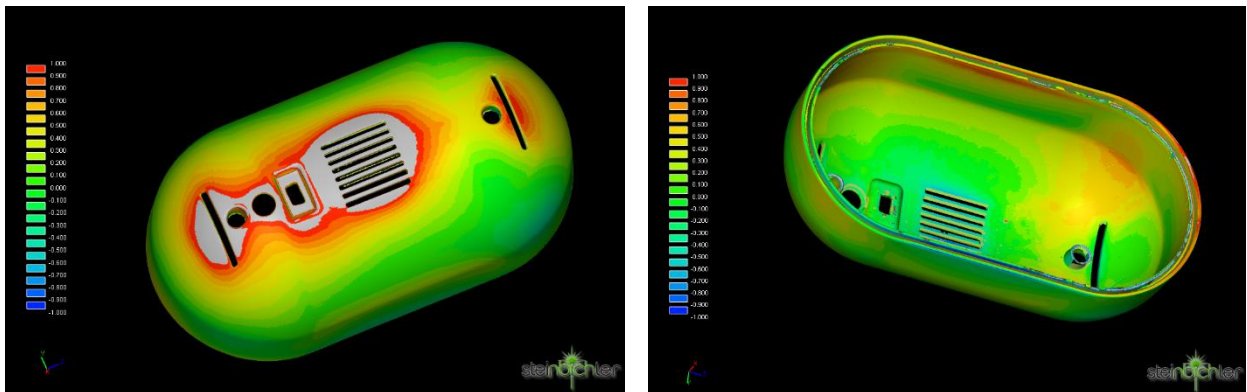


Figura 93 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

De uma maneira geral há um equilíbrio ao longo da peça entre as zonas que de um lado têm desvios positivos e negativos e no lado oposto compensam com desvios negativos e positivos. As múltiplas ranhuras, Figura 94, do exterior têm excesso de material enquanto no interior falta material.

No exterior em redor da peça observa-se uma mancha de tonalidade azulada de desvios correspondentes de -0,35 mm, que no seu interior corresponderam a uma mancha laranja de 0,8 mm.

Estas manchas de falta de material no exterior, podem ser provocadas com a lixagem das peças.

Sobre o comprimento da peça, as laterais de encaixe do exterior apresentam falta de material enquanto no interior há excesso, pode-se concluir que a peça está mais fechada, devido a algumas deformações.

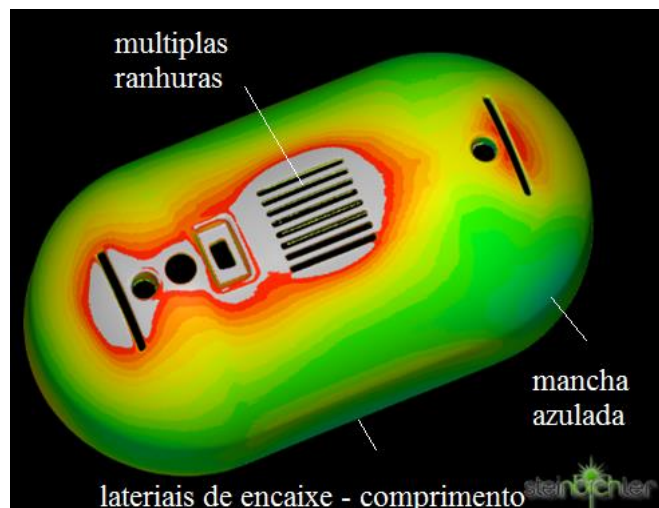


Figura 94 – Legenda da localização de algumas partes da peça.

-Análise das espessuras da peça traseira inicial digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça Traseira inicial, Figura 95:

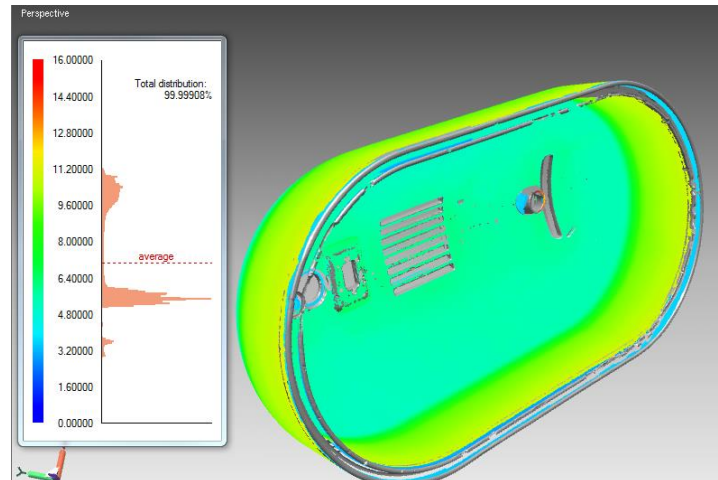


Figura 95 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 7 mm.

Uma vez que a espessura média é de 7 mm e a espessura máxima ultrapassa esse valor, a contração adequada segundo as regras da Telene é de 1%.

-Análise da sobreposição da peça alterada:

Para a peça Traseira alterada, observam-se duas imagens da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -1 e 1mm, Figura 96:

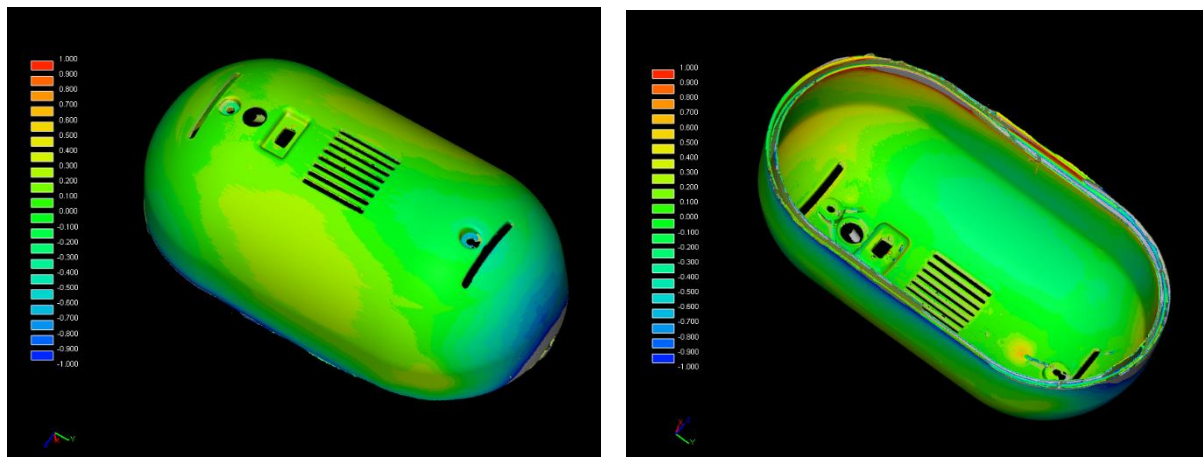


Figura 96 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

Em comparação com a peça mais antiga do lado exterior não se observam desvios positivos tão acentuados (tonalidade de laranja a vermelho, 0,5 – 1mm). E tal como na anterior, as laterais de encaixe do exterior apresentam falta de material enquanto no interior há excesso, devido a algumas deformações, a peça parece estar mais fechada. Observa-se um desvio negativo acentuado, no exterior da peça, principalmente de um dos lados. Este desvio, junto há zona de encaixe é superior a -1mm (daí a cor cinzenta) e vai diminuindo até perto do rasgo com -0,8mm. As múltiplas ranhuras não apresentam desvios significativos. Apenas se observam alguma falta de material nas nervuras com aparecimento de desvios negativos.

-Análise das espessuras da peça digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça Traseira alterada, Figura 97:

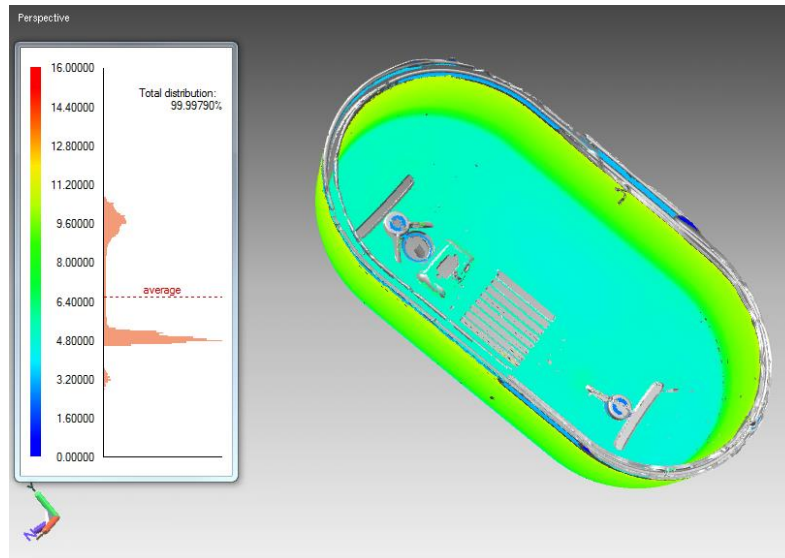


Figura 97 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 6.5 mm.

Uma vez que a espessura média é de 6.5 mm e a espessura máxima ultrapassa esse valor, a contração adequada segundo as regras da Telene é de 1%.

Guarda-lamas**-Análise da sobreposição da peça sem ribs:**

Para a peça Guarda-Lamas, observam-se duas imagens, da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -7 e 7mm, Figura 98:

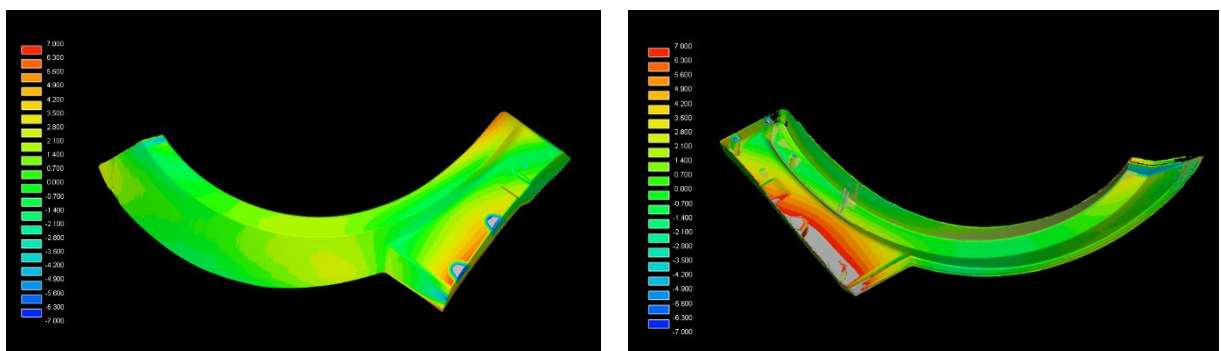


Figura 98 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.

Recorrendo a uma imagem com zonas legendadas, pode-se observar, que na lateral com o número 1, há falta de material que se aproxima dos -5 mm, visto do interior da peça, no exterior apenas se observa uma pequena mancha de -4 mm de desvio. Esta diferença, não se deve a falta de material, deve-se ao afastamento do cad em relação ao stl. Assim uma vez que os valores no interior são superiores, aparentemente o stl está afastado do cad para o lado exterior da peça, devido a deformações da mesma. Na aba, do lado da numeração de 2 a 5, Figura 99, há um desvio crescente entre 2 e 3, cujo máximo anda à volta de 1 mm, e entre 3 e 4 há uma diminuição

desse desvio, que se volta a acentuar em 5. Ainda assim, trata-se de um desvio pequeno, comparado com os desvios máximos da peça que atingem os 10 mm à volta do ponto 8. De 6 para 8, há um aumento acentuado dos desvios. À volta de 6 há desvios negativos, que vão crescendo para valores positivos, aparentemente a peça está torcida ao longo desta face. Neste caso a peça está mais fechada deste lado (entre 4 e 9).

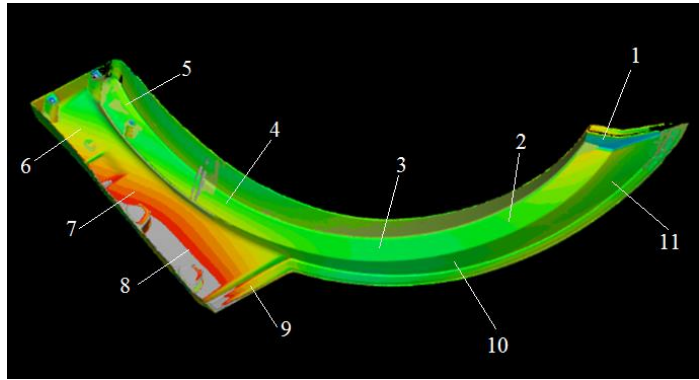


Figura 99 – Legenda da localização de algumas partes da peça.

-Análise das espessuras da peça sem ribs digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça sem ribs, Figura 100:

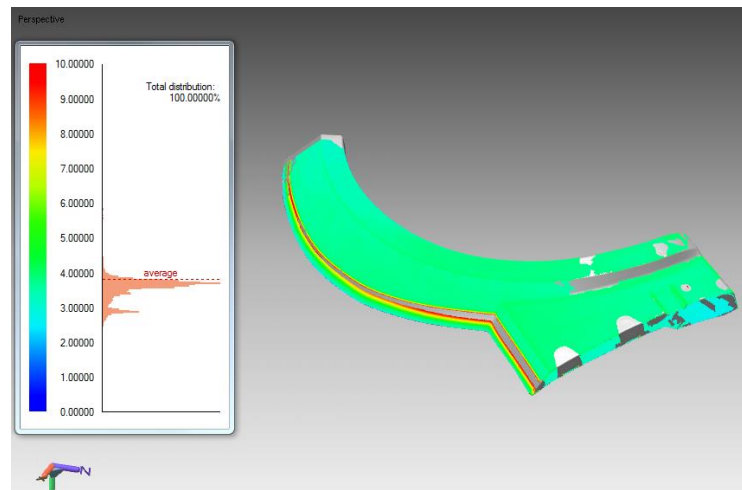


Figura 100 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.8 mm.

Se a contração da peça for em função da espessura média, uma vez que a média é de 3.8 mm a contração aplicada deveria ser de 0.85%. Se se tiver em conta que a espessura máxima ultrapassa os 7 mm a contração indicada seria de 1%.

-Análise da sobreposição da peça com ribs:

Para a peça com ribs, observam-se imagens da peça vista de dois lados, com uma escala de desvios entre -7 e 7mm, Figura 101:

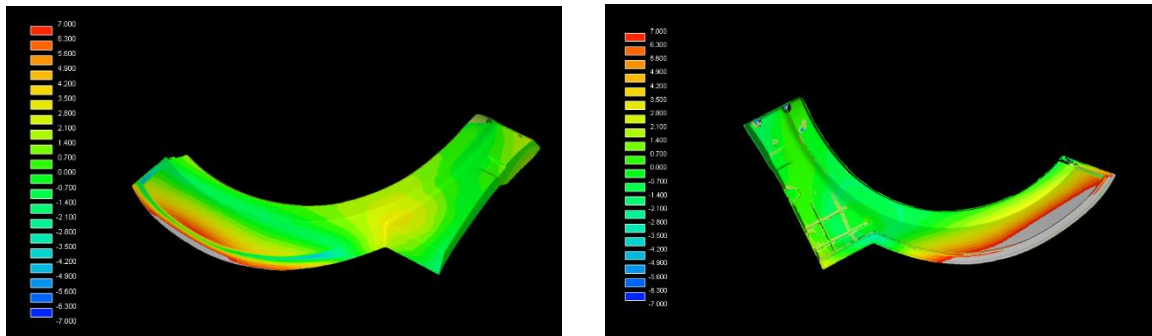


Figura 101 – Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.

Se se usar a numeração anterior, desta vez entre 3 e 9, há uma boa sobreposição, quer de um lado quer do outro, já que os desvios não ultrapassam os 4 mm. A adição de ribs à peça, pode ter ajudado a diminuir a deformação nesta zona. No interior apenas se observam alguns desvios negativos acentuados em saliências mal preenchidas. Nesta peça os maiores desvios concentram-se entre 10 e 11. No exterior observam-se desvios negativos e positivos, que acentuam a variação de espessura da peça. No interior observam-se valores positivos entre 10 e 11, com os desvios a crescerem de 10 para 11 e atingem aproximadamente os 13 mm. A peça foi reforçada no lado mais importante, mas aumentou os desvios noutra zona.

De referir que a posição da peça aquando da digitalização pode influenciar o aparecimento de deformações ou até mesmo atenuar alguns. Uma vez que se trata de uma peça de encaixe, que tem alguma flexibilidade, estas deformações são controlados com o encaixe da peça.

Uma vez que as injeções ocorreram em momentos distintos, as condições do processo podem ter variado e este facto pode ter influência nas peças em análise.

-Análise das espessuras da peça digitalizada:

Segue-se o resultado obtido da análise de espessura da peça com ribs, Figura 102:

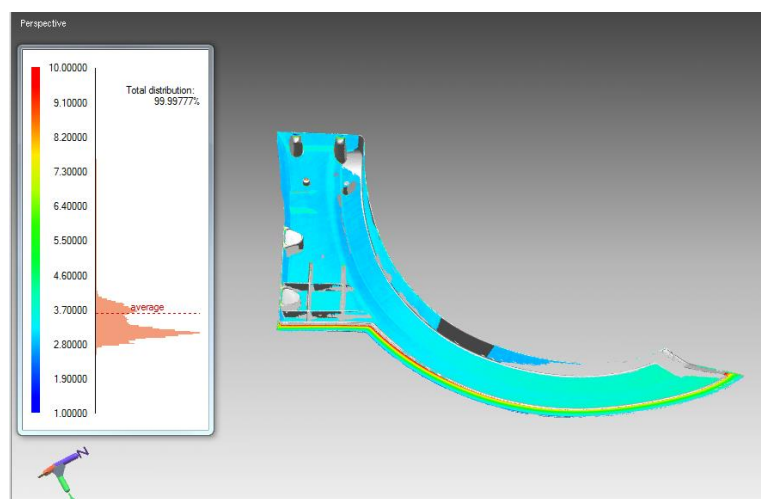


Figura 102 – Escala de espessuras da peça digitalizada, média de 3.6 mm.

Para uma espessura média de 3.6 mm, a contração indicada seria de 0.85%, se se tiver em conta que a espessura máxima ultrapassa os 7 mm a contração seria de 1%.

Análise

Ao analisar a digitalização das peças, quando comparadas com os ficheiros cad's podem observar-se desvios, devidos a deformações nas peças. Esta análise não exclui um levantamento de cotas funcionais da peça para perceber a influência das deformações nas suas dimensões.

Para as mesmas peças (com ou sem alterações), injetadas em momentos distintos, os parâmetros do processo também podem ter impacto (em termos de empenos) nas peças resultantes.

Pensando em soluções que ajudem a reduzir o aparecimento de deformações, pode-se falar de mecanismos de extração da peça, como por exemplo extratores associados a placas de extração. Desta forma, evita-se exercer diferentes forças durante a extração da peça, que levam a introdução de tensões internas e deformações. Um outro *design* da *gate* também podia auxiliar a extração da peça. Para pequenas séries é possível optar por sistemas de suporte/fixadores, para as peças depois de injetadas, terminarem a sua cura e estabilizarem na posição pretendida (formas e medidas).

Quando foi para calcular as velocidades de injeção das peças, assumiu-se que estas tinham espessuras inferiores a 7 mm, e daí a velocidade máxima recomendável ser de 4m/s. Se este critério de espessura aplicado à velocidade de injeção, fosse o mesmo para a contração, então a contração de peças com espessuras inferiores a 7mm, seria entre 0,85 e 0,9%. Da análise das espessuras conclui-se que o referido anteriormente não se verifica, e que a contração aplicada é de 1%, em função da espessura máxima. Para confirmar se está contração esta adequada é necessário controlar as dimensões das peças.

4.2.4. Controlo de cotas funcionais

Neste subcapítulo, foram registadas algumas medições feitas às peças e comparadas com as respetivas dimensões registadas com o recurso ao *software*. Desta forma, pretende-se reforçar o estudo feito pela digitalização e avaliar a contração aplicada.

Magnum Cap Frente

No caso do Magnum Cap Frente, foram analisadas duas peças, uma mais antiga, Figura 104, e outra mais recente, Figura 103.

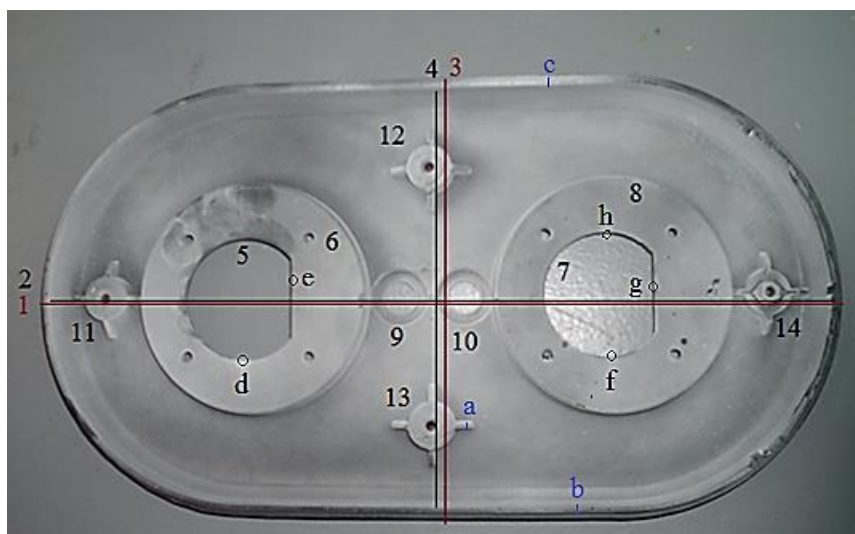


Figura 104 – Medições realizadas à peça mais antiga, comprimentos, diâmetros e espessuras.



Figura 103 – Peça mais recente.

Segue-se o registo das medições realizadas, Tabela 19:

Tabela 19 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.

Dimensões	Antiga (armazém)		Mais recente	
	Cad [mm]	Medidas [mm]	Cad [mm]	Medidas [mm]
Comprimento 1 exterior	392.1	392.5	392.1	392.5
Comprimento 2 interior	377	385.5	377	385.3
Comprimento 3 exterior	209.8	212	209.8	209
Comprimento 4 interior	198.5	205	198.5	202.5

Diâmetro interior 5	59.8	60	41.8/46	41.5/45.6
Diâmetro exterior 6	114.2	114	114.2	115
Diâmetro interior 7	59.8	59,8	59.8	59.5
Diâmetro exterior 8	114.2	114.8	114.2	115
Distância entre diâmetro 6 e 8	58.6	61.3	58.6	60.2
Diâmetro interior 9	15.2	15	15.2	15
Diâmetro interior 10	15.2	15	15.2	15
Diâmetro 11	22.2	22.3	22.2	22.3
Diâmetro 12	22.2	22.3	22.2	22.3
Diâmetro 13	22.2	22.4	22.2	22.3
Diâmetro 14	22.2	22.9	22.2	x
Espessura a	2.7	3	2.7	3
Espessura b	3	3.4	3	3.7
Espessura c	3	3.3	3	3.5
Espessura d	3	3.5	3	x
Espessura e	3	3.5	3	x
Espessura f	3	3.6	3	3.7
Espessura g	3	3.8	3	3.7
Espessura h	3	3.5	3	3.5
Altura	28,5	29.7	28,5	28.8
Alturas (rasgo ate à frente da peça)	21	21.5	21	21.3

Nas duas peças encontram-se algumas variações nos comprimentos interiores e nas distâncias entre os diâmetros 6 e 8. O comprimento interior 2, também está maior que a medida original. Podem existir algumas deformações nesta direção nas duas peças, como já se havia suposto durante a análise da digitalização.

Em relação às espessuras, f, g e h, estas são um pouco mais espessas nas duas peças. A altura da peça mais antiga está ligeiramente maior. Numa versão original a altura podia ser essa e entretanto ter sido reduzida, uma vez que o cad da versão anterior não se encontra disponível, não é possível verificar essa alteração.

Estas pequenas diferenças também se podem dever a uma contração maior do que a necessária.

Magnum Cap Traseira

No caso do Magnum Cap Traseira, mediram-se comprimentos, diâmetros e espessuras, Figura 107, em duas peças, na versão inicial, Figura 105, e na versão com alterações, Figura 106.

Segue o registo das medições realizadas, Tabela 20 e Tabela 21:

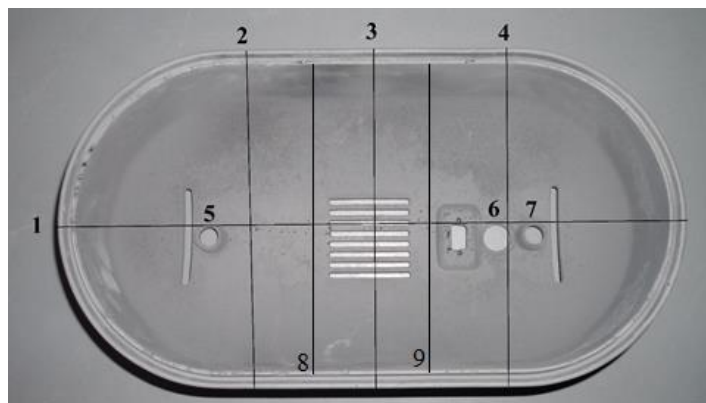


Figura 105 – Medições realizadas (comprimentos e diâmetros), à peça inicial.



Figura 106 – Peça mais recente.

Tabela 20 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.

Dimensões	Antiga		Atual	
	Cad [mm]	Medidas [mm]	Cad [mm]	Medidas [mm]
Comprimento 1	392,1	392.3	386.9	389.8
Comprimento 2	212.4	211.7	212.4	209.8
Comprimento 3	212.4	211.7	212.4	209.6
Comprimento 4	212.4	211.5	212.4	210.6
Altura	136.7	138.6	136,7	137.5
Diâmetro interior 5	14	14.5	Ext 22.2	Ext ~23
Diâmetro interior 6	20.6	20	20.4	20.8

Diâmetro interior 7	14	15.2	Ext 22.2	ext ~21
Comprimento 8	191	189.3	191	189.6
Comprimento 9	191	1.88.9	191	188.8

Na peça mais atual, observam – se algumas diferenças nos comprimentos 2,3, 4, 8 e 9, que de acordo com a digitalização devem-se às deformações existentes na peça, mas também podem ser induzidas pela contração utilizada.

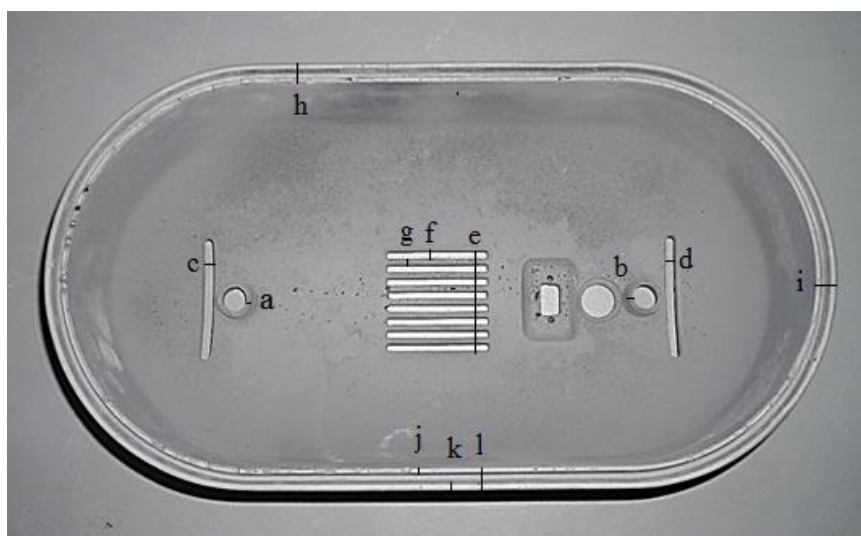


Figura 107 – Medições realizadas, comprimentos, diâmetros e espessuras.

Tabela 21 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.

	Antiga		Atual	
Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]	Cad [mm]	Medidas [mm]
Espessura a	3.25	3.8	x	x
Espessura b	3.25	3.6	x	x
Espessura c	5.3	5	5.3	5.9
Espessura d	5.3	5	5.3	5.7
Espessura e	60.2	60.5	60.2	60.4
Espessura f	4.2	4	4.2	4.4
Espessura g	3.5	4.4	3.5	4,1
Espessura h	10.7	10.1	10.7	10.6
Espessura i	10.7	11.5	10.7	11.5
Espessura j	3.0	3.1	3	x - 3mm em l
Espessura k	3.3	3.7	3.5	3.6

Espessura l	10.7	11.3	10.7	11.2
-------------	------	------	------	------

No geral observam-se diferenças muito pequenas, inferiores a 1mm.

Canto

Sendo a peça canto uma peça muito irregular, sem planos suficientemente bem definidos a ponto de fazer um correto levantamento de cotas funcionais, optou-se por usar o paquímetro apenas para registrar diâmetros (Figura 108 e Figura 109) e espessuras ao longo da peça, Figura 110.

Segue-se o registo das medições realizadas, Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 22 – Controlo do diâmetro dos furos da peça.

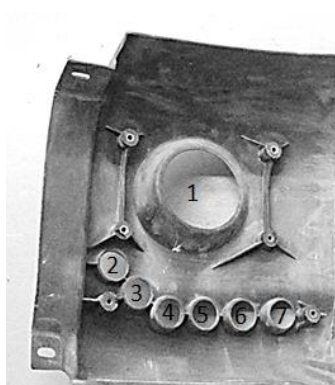


Figura 108 – Medições realizadas.

Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]
Diâmetro 1	90	91
Diâmetro 2	30	31
Diâmetro 3	30	31
Diâmetro 4	30	31
Diâmetro 5	30	31
Diâmetro 6	30	31
Diâmetro 7	30	31

Tabela 23 – Diâmetro das bolsas de material com insertos e espessura das nervuras.

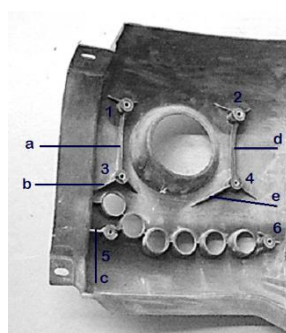


Figura 109 – Medições realizadas.

Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]
Diâmetro 1	18	20
Diâmetro 2	18	20
Diâmetro 3	18	20
Diâmetro 4	18	20
Diâmetro 5	20	20
Diâmetro 6	20	20
Nervura a	3	3
Nervura b	3	3
Nervura c	3.1	3
Nervura d	3	3
Nervura e	3	3

Uma vez que é difícil fazer medições nesta peça, as variações encontradas, podem dever-se a erros de medição (sítios ligeiramente diferentes), e também a efeitos da contração.

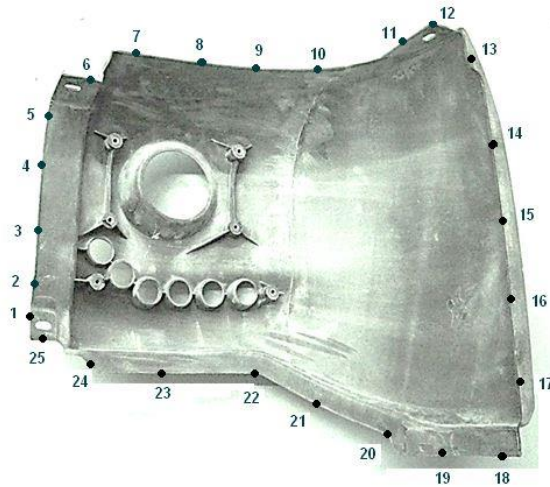


Figura 110 – Medições de espessuras realizadas.

Tabela 24 – Controlo das espessuras em redor da peça.

Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]
1	5	4
2	3	4
3	3	4
4	3	4
5	3	3
6	4.9	5
7	3	4
8	3	4
9	3	4
10	3	4
11	3.8	3
12	4.8	4
13	3	5

Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]
14	3	4
15	3	4
16	3	4
17	3	4
18	3	4
19	5	4
20	3	4
21	3	4
22	3	4
23	3	4
24	3	4
25	5	4

Em relação às espessuras medidas, registam-se algumas diferenças. As espessuras com o número 1, 6, 11, 12, 19 e 25 justificam-se com alterações feitas à peça após injeção, em que se lixaram algumas extremidades para alterar a espessura inicial, o que deixou irregularidades. As restantes podem dever-se à aplicação de uma contração desadequada a espessura da peça. A aplicação de uma contração de 1%, só se justifica considerando a altura das saliências. Visto ser uma parte de material pequena relativamente à totalidade da peça, seria mais adequado aplicar uma contração de acordo com a espessura média da peça, que no caso é de 3,6 mm, o

que faria com que a contração indicada fosse de 0.85%. Esta contração aplicada pode ajudar a explicar as diferenças nas espessuras medidas.

Guarda-lamas

No caso do Guarda-lamas, mediram-se comprimentos e espessuras, Figura 113, à peça inicial sem ribs, Figura 111, e à versão alterada com ribs, Figura 112.



Figura 111 – Peça antes das alterações, sem ribs.

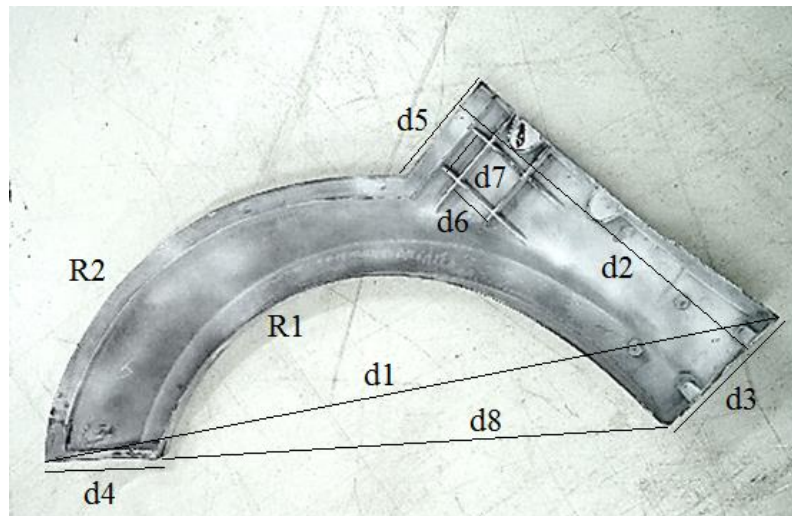


Figura 112 – Medições realizadas, comprimentos e diâmetros.

Segue o registo das medições realizadas Tabela 25 e Tabela 26.

Tabela 25 – Medições realizadas às duas peças e aos cad's das peças.

	Antiga sem ribs		Atual cm ribs	
Dimensões	Cad [mm]	Medidas [mm]	Cad [mm]	Medidas [mm]
Comprimento d1	1151	1147.7	1151	1146.9

Comprimento d2	514	512.6	514	509.9
Comprimento d3	197.6	200.2	197.6	200.7
Comprimento d4	187	193.9	187	185.2
Comprimento d5	173.6	172.6	173.6	174
Comprimento d6	x	X	66	65.5
Comprimento d7	x	x	66.6	65.0
Comprimento d8	825.6	833.5	825.6	827.3
R1	410 - 1717	x	410 -1717	x
R2	x	x	x	x

As variações registadas são todas inferiores a 1cm e podem dever-se a deformações ou efeitos de contração. Sendo o guarda-lamas uma peça de encaixe algo flexível, não são variações significativas. A forma como a peça está pousada pode introduzir alguma deformação que também influencia os resultados.

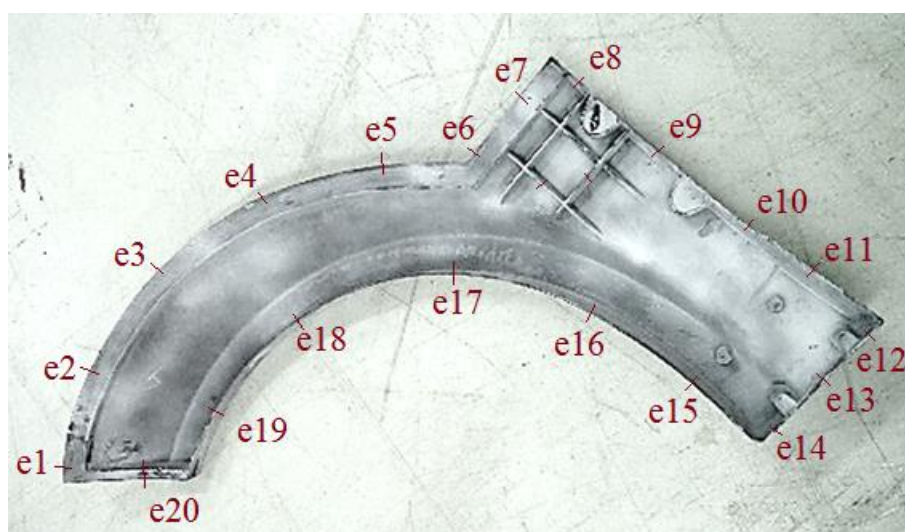


Figura 113 – Medições de espessuras realizadas.

Tabela 26 – Controlo das espessuras em redor da peça.

Dimensões	Antiga sem ribs		Atual cm ribs	
	Cad [mm]	Medidas [mm]	Cad [mm]	Medidas [mm]
Espessura 1	3	3	3	3
Espessura 2	3	3	3	3
Espessura 3	3	3	3	3
Espessura 4	3	3	3	3

Espessura 5	3	3	3	3
Espessura 6	3	3	3	3
Espessura 7	3	3	3	3
Espessura 8	3	4	3	3
Espessura 9	3	4	3	3
Espessura 10	3	4	3	3
Espessura 11	3	4	3	3
Espessura 12	3	3	3	3
Espessura 13	3	3	3	3
Espessura 14	3	3	3	3
Espessura 15	3	3	3	3
Espessura 16	3	3	3	3
Espessura 17	3	3	3	3
Espessura 18	3	3	3	3
Espessura 19	3	3	3	3
Espessura 20	18.1	18.5	18.1	18.3

Os contornos da peça, não tinham faces paralelas, ainda assim as espessuras estão de acordo com o projetado, o que exclui um incorreto valor de contração.

Análise

As medições realizadas indicam que a contração aplicada pode ser superior à necessária. Por outro lado as deformações da peça observadas na digitalização também contribuem para as diferenças em algumas dimensões. Além das cotas, outra forma de verificar questões de contração é fazer um levantamento de massas das peças, para ver se estão de acordo com o projetado. Esta análise é mais complicada, pois as peças muitas vezes podem ter defeitos, falta de material, polimerização incompleta e diferenças na densidade atingida.

4.2.5. Massas das peças

Avaliar se as massas das peças finais estão idênticas as massas teóricas das peças, obtidas pelo CAD. As massas das peças em estudo e mais algumas foram pesadas e identificadas.

Magnum Cap Frente

Para a peça Frente, analisaram-se quatro peças, A, B, 11 e 17, Tabela 27 e Tabela 28.

Tabela 27 – Peças Magnum Cap Frente em estudo.

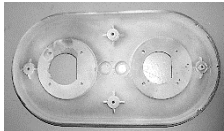



Peça A (mais antiga)	Peça B (mais recente)	Peça 11	Peça 17
			

Tabela 28 – Pesagem das peças Magnum Cap Frente em estudo.

Peça	Massa do cad da peça [kg]	Massa do cad da gate [kg]	Massa antes de trimar [kg]	Massa após trimagem [kg]	Rebarbas + gate [kg]
A	-	-	-	0,505	-
B	0,466	0,059	0,540	0,470	0,070
11	0,466	0,059	0,555	0,480	0,075
17	0,466	0,059	0,560	0,480	0,080

As peças trimadas têm entre 14 e 4 gramas a mais que o peso previsto no cad. Se as peças tivessem menos material poderia ser pelos defeitos, incorretos enchimentos ou má polimerização da peça. Uma vez que há excesso de material, pode indicar que a peça está ligeiramente maior que a projetada, contração superior ao necessário.

Magnum Cap Traseira

Para a peça Traseira, analisaram-se quatro peças, peça A, B, 10 e 17, Tabela 29 e Tabela 30.

Tabela 29 – Peças Magnum Cap Traseira em estudo.


Peça A - inicial	Peça B - alterada	Peça 10	Peça 17
			

Tabela 30 – Pesagem das peças Magnum Cap Traseira em estudo.

Peça	Massa do cad da peça [kg]	Massa do cad da gate [kg]	Massa antes de trimar [kg]	Massa após trimagem [kg]	Rebarbas + gate [kg]
A	1,043	0,061	-	1,095	-
B	1,038	0,061	1,080	1,010	0,070
10	1,038	0,061	1,170	1,055	0,115
17	1,038	0,061	1,165	1,050	0,115

As peças trimadas A, 10 e 17 têm entre 52, 17 e 12 gramas a mais que o peso previsto no cad, pelos motivos anteriormente referidos. No caso da peça B, esta tem a menos 28 gramas, mas dado que a peça não encheu corretamente, é um resultado normal.

Canto

Para a peça Canto, analisaram-se três peças, peça A, B e C, Tabela 31 e Tabela 32.

Tabela 31 – Peças Canto em estudo.

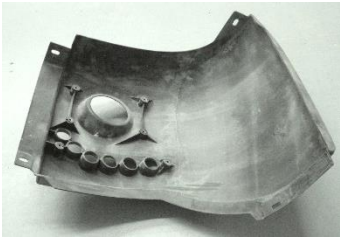


Canto - A	Espelho - B	Espelho - C
		

Tabela 32 – Pesagem das peças Canto em estudo.

Peça	Massa do cad da peça [kg]	Massa do cad da gate [kg]	Massa antes de trimar [kg]	Massa após trimagem [kg]	Rebarbas + gate [kg]
Canto - A	1,058	0,122	-	1,060	-
Espelho - B	1,058	0,122	-	1,13	-
Espelho - C	1,058	0,122	1,265	-	-

Uma vez que peça A trimada já tinha sido lixada e retirado o material interior do furo maior, seria de esperar que a sua massa fosse ligeiramente inferior, em relação a peça B, esta tem 72 gramas a mais que o valor teórico. A contração aplica no projeto poderá ser superior ao necessário e originar peças com maior dimensões/volume, logo, mais pesadas.

Guarda Lamas

Para a peça Guarda-lamas, analisaram-se duas peças, com e sem ribs, Tabela 33 e Tabela 34.

Tabela 33 – Peças Guarda-lamas em estudo.


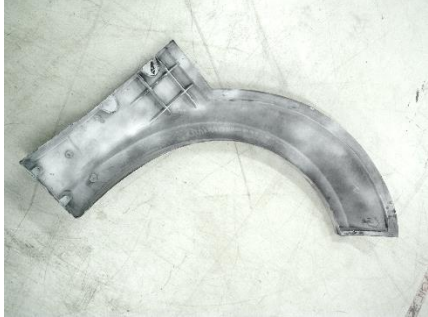
Guarda-lamas sem ribs	Guarda-lamas com ribs
	

Tabela 34 – Pesagem das peças Guarda-lamas em estudo.

Peça	Massa do cad da peça [kg]	Massa do cad da gate principal [kg]	Massa após trimagem [kg]
Peça sem ribs	1,348	0,151	1,535
Peça com ribs	1,412	0,151	1,495

A massa da peça sem ribs trimada tem 187 gramas a mais, embora tenha algumas falhas de material, este valor parece excessivo. No caso da peça com ribs a diferença é de 83 gramas.

Análise

A contração aplicada a todas as peças é de 1,01% e pelos valores recolhidos, aparentemente todas têm massa superior à massa teórica.

Desta forma pode-se concluir que a contração aplicada não é a mais correta. Poder-se-ia aplicar um contração ligeiramente inferior, o que iria ao encontro das recomendações e do projeto da *gate*, (registado na revisão bibliográfica referente as guidelines da Telene sobre o processo RIM e o material DCPD usado).

Pelos dados recolhidos das peças analisadas, não se consegue verificar, se o material injetado tem a densidade indicada pelo fornecedor, nem se as peças sólidas atingem a densidade do sólido. Estes fatores também influenciam os valores recolhidos.

4.2.6. Acabamentos das peças

Antes de iniciar as fases de acabamento, a peça Frente encontrava-se da seguinte forma, tal como se observa na Figura 115:



Figura 115 – Peça injetada, antes dos acabamentos.



Figura 114 – Ferramentas para trimar e lixar as peças.

Em seguida enunciam-se os passos de acabamento realizados nas peças DCPD e mostram-se as ferramentas utilizadas, Figura 114.

Começa-se por trimar a peça, cortar a rebarba em redor, em alguns interiores e a gate, Figura 116, na Anexo AC encontra-se mais informação:



Figura 116 – Trimar o exterior e interior das peças, rebarbas e a gate.

Segue-se a lixagem das peças, para retirar resíduos e polir a superfície, antes da aplicação do primário, Figura 117:



Figura 117 – Lixagem da peça.

No terceiro passo, aplica-se o desengordurante seguido do primário, Figura 118. Começa-se por colocar a peças todas com a mesma orientação. Com uma pistola de pintura são realizadas diversas passagens sobre todas as peças, até que fiquem totalmente pintadas. Depois de secarem, viram-se para serem pintadas do outro lado. A secagem pode ser à temperatura ambiente. Se for necessário acelerar o processo, deverá ser aumentada ligeiramente a temperatura da estufa.

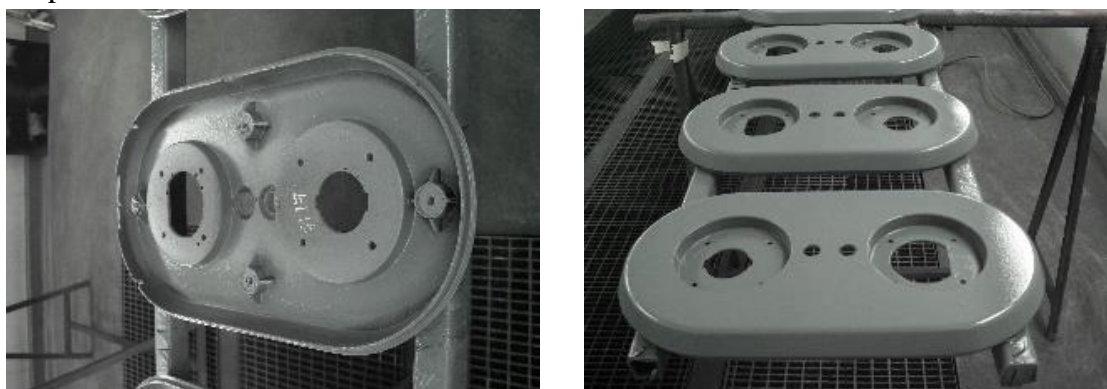


Figura 118 – Peças após aplicação do primário. De referir que o exterior da peça, lado visível, (imagem do lado esquerdo) é o que necessita de uma melhor pintura.

Por último aplica-se a pintura, Figura 119 e Figura 120.



Figura 119 – Peças traseiras pintadas.

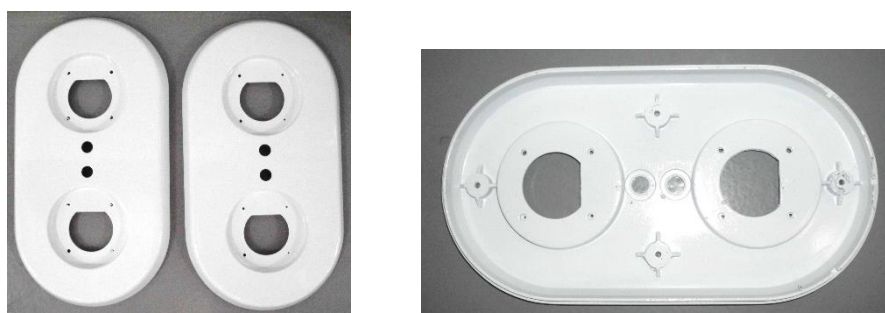


Figura 120 – Peças frentes pintadas.

A peça canto é o exemplo de uma peça, que leva poucos acabamentos no CEiiA, a peça é trimada e lixada, Figura 121.



Figura 121 – Peças canto, peça esquerda sem acabamentos, peça direita – canto estudado, trimada e lixada.

4.2.7. Reparações

No caso de ser necessário corrigir pequenos defeitos, utiliza-se um pó mais adesivo para preenchimentos das falhas de material após a lixagem da peça (2º passo).

Com o kit Q-bond referido anteriormente, procede-se ao preenchimento de furos e falhas existentes na peça, Figura 123 e Figura 122. Após este preenchimento, as zonas reparadas voltam a ser lixadas.



Figura 123 – Furo existente na peça traseira do Magnum Cap, (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).

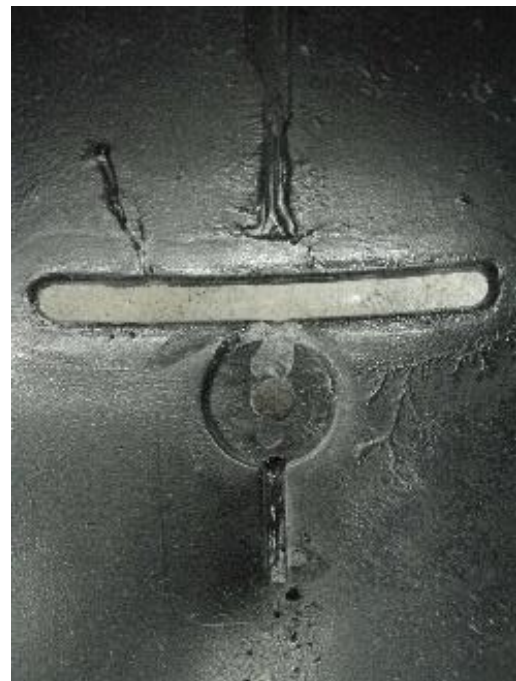


Figura 122 – Furo após enchimento com o kit reparador (pó mais adesivo), já lixado (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).

Pode-se observar a peça Magnum Cap traseira, antes, durante e após a aplicação do primário, Figura 124:

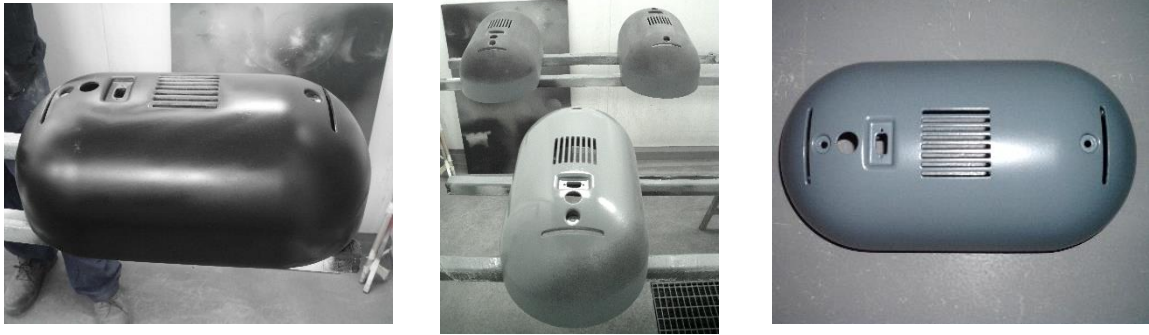


Figura 124 – Peça Magnum Cap, antes, durante e após a aplicação do primário, da esquerda para a direita.

Depois do primário os defeitos que ainda não estão corrigidos são sujeitos a nova reparação, desta vez com betume, mas antes disso a peça é ligeiramente lixada.

Na próxima imagem, Figura 125, pode-se observar uma pequena marca no exterior da peça, com a forma de uma seta, que será reparada com a aplicação de betume.



Figura 125 – Defeito no exterior da peça.

Pode-se ainda observar a peça frente e traseira juntas, Figura 126:



Figura 126 – Peça frente e traseira encaixada.

Repare-se que a junta de encaixe das peças não está totalmente uniforme, isto pode acontecer devido a defeitos na peça injetada, ou até mesmo pequenas falhas provocadas pela trimagem da peça. Para garantir uma junta perfeita aplica-se betume.

Na Figura 128 observa-se o furo antes da aplicação do betume, e segue-se a lixagem das peças, Figura 127, para posterior aplicação do betume.

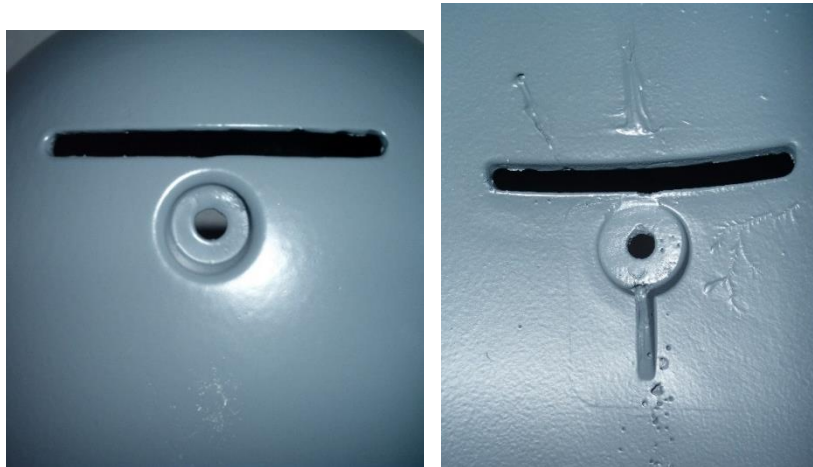


Figura 128 – Furo visualizado anteriormente, após aplicação do primário e antes do betume (lado esquerdo – exterior da peça, lado direito – interior da peça).

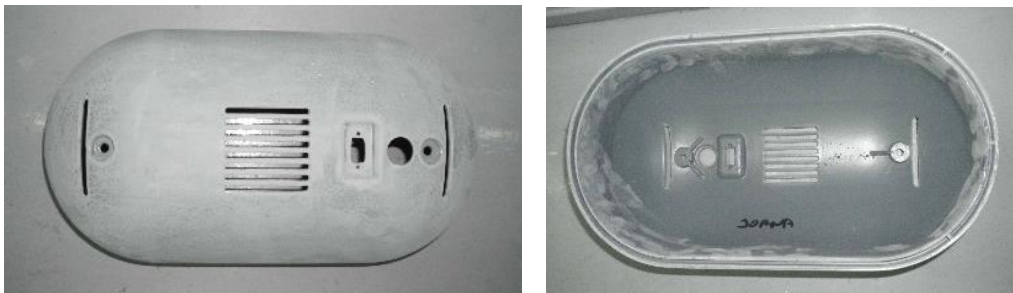


Figura 127 – Peça traseira lixada, lado esquerdo - exterior, lado direito - interior da peça.

As peças Magnum Cap que tinham mais defeitos e nas quais foi necessário aplicar mais betume, eram as peças traseiras. O betume foi aplicado em pequenos furos na superfície exterior da peça, Figura 129 e marcas visíveis.



Figura 129 – Peça inicial (à esquerda), aplicação de betume na mesma peça (no meio) e depois do betume seco e lixado (à direita).

O betume foi também aplicado nos contornos exteriores, de encaixe, Figura 131, e nos rasgos, onde os furos se notavam, Figura 130:

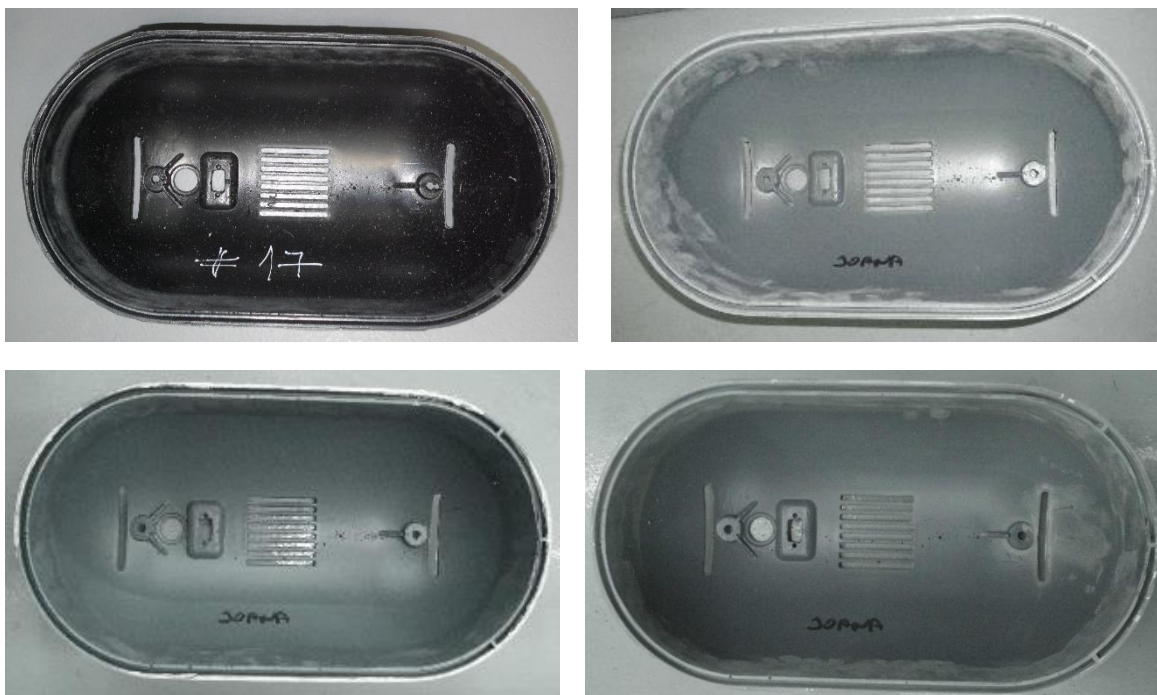


Figura 131 – Peça Magnum Cap traseira, no início (canto superior esquerdo), lixada após primário (canto superior direito), depois de aplicado o betume (canto inferior esquerdo), após lixada após betume (canto inferior direito).

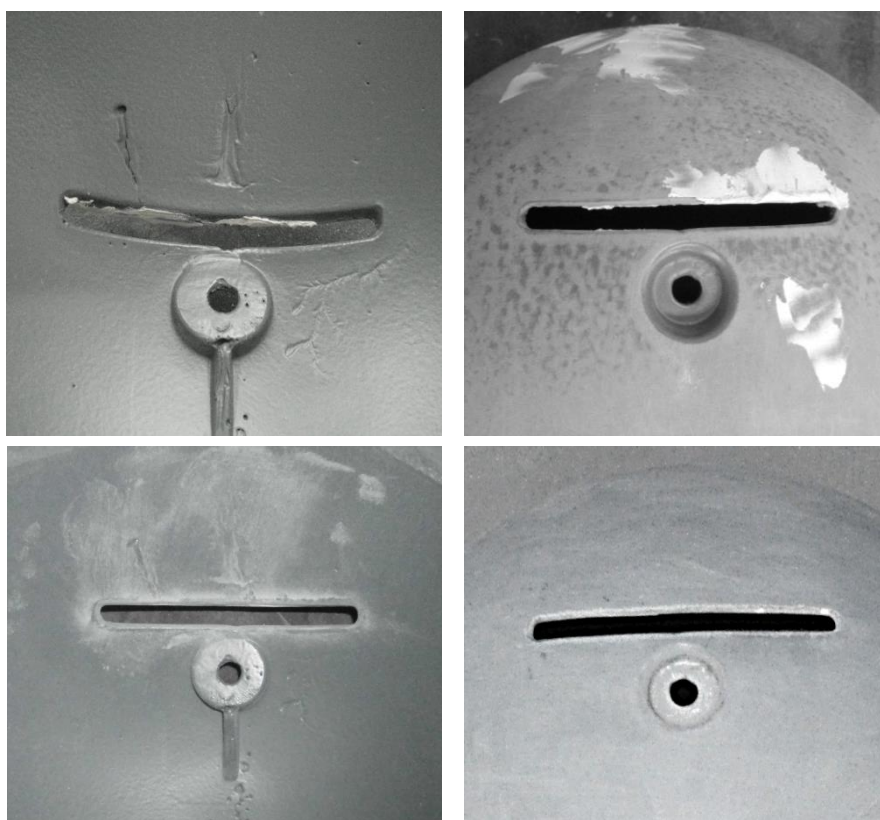


Figura 130 – Em cima, peça com betume, em baixo peça lixada após aplicação de betume, lado esquerdo interior da peça, lado esquerdo – exterior da peça.

Depois da aplicação de betume, lixa-se a peça e aplica-se a pintura.

4.2.8. Defeitos típicos das peças

Segue-se um levantamento de defeitos típicos observados nas peças em estudo.

4.2.8.1. Falta de material

A falta de material verifica-se em algumas das últimas zonas a encher e nas saliências. A falta de material leva a uma polimerização incompleta e a contração do material potenciam o aparecimento de furos. Como exemplo temos as saliências com falta de material nas peças Magnum Cap Frente e Guarda-lamas, marcas visíveis nas extremidades das peças Magum Cap traseira e Canto, Figura 132.



Figura 132 – Defeitos provocados por falta de material: peça Magnum Cap Frente (em cima à direita), Guarda-lamas (em cima à esquerda), Magnum Cap Traseira (em baixo à direita) e Canto (em baixo, à direita).

4.2.8.2. Furos – bolhas de ar acumulado

Os defeitos provocados por ar aprisionado, originam pequenos furos nas superfícies das peças (principalmente no interior da peça – lado não visível) e nas saliências. Estes defeitos aparecem na maioria das peças. No caso do Magum Cap Traseira observam-se furos quer na superfície da peça como em saliências, o mesmo se verifica com a peça canto e peça Magum Cap Frente, Figura 133.



Figura 133 – Defeitos devido a ar acumulado: em cima peça Magum Cap Traseira, no meio Peça Canto e em baixo peça Magnum Cap Frente.

Análise

Para as peças em estudo constatou-se que todas apresentam pequenos defeitos, mas também se verificou que todos esses defeitos conseguem ser corrigidos, ainda que isso implique tempo extra e que no caso de produção de grandes séries, tornaria impraticável, já que o tempo perdido com as reparações diminuiria muito a produtividade.

Soluções com vista a redução de defeitos, e pensando na produtividade das grandes séries, passam pela utilização de uma prensa basculante. A inclinação da prensa ajudaria ao melhor escoamento do material, evitando o mau enchimento de algumas partes, tais como saliências, ao mesmo tempo assegurava o completo enchimento das peças, por exemplo nas suas extremidades. Além disso ajudava ao escape de ar acumulado, evitando os furos nas superfícies devido ao ar que fica aprisionado.

Por outro lado uma vez que o material tem a limitação de espessura mínima de 3mm, seria melhor evitar trabalhar com essa espessura e optar por usar como espessura mínima 4 mm, para assegurar a completa polimerização do material, e evitar defeitos provocados peça contração.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho permitiu estudar o processo RIM, de peças em DCPD. O objetivo inicial era fazer simulações do processo, mas uma vez que o material não se encontra caracterizado e os *softwares* existentes também não são adequados à simulação deste processo, no entanto o estudo aqui apresentado permitiu definir estratégias para otimizar o processo para médias e grandes séries.

Estudou-se o material utilizado, os equipamentos, os moldes, a geometria das peças e os parâmetros do processo. Relativamente aos moldes, *gates* e reservatórios conclui-se que os projetos estavam de acordo com o recomendado pelas *guidelines* da Telene, permitindo respeitar velocidade máxima recomendada na *gate* (e de acordo com a espessura da peça em causa) assegurando um Re inferior a 10 e uma queda de pressão mínima de 1.5 bar. As peças em estudo têm espessuras inferiores a 7 mm, o que faz com que a velocidade na *gate* indicada seja no máximo de 4 m/s.

Os tempos de injeção estão dentro do intervalo de tempos estimados ou ligeiramente superiores. Por um lado porque as peças apresentam dimensões ligeiramente maiores, por outro lado são necessários tempos superiores para assegurar o enchimento completo das peças, preenchimento dos reservatórios, rebarba e até mesmo de algum material que sai do molde antes da peça encher na totalidade.

Relativamente ao processo, verificou-se que um molde com temperatura de serviço mais baixo pode conduzir a peças com boa qualidade superficial, tornando-se mais fácil e rápido o aquecimento do molde, maior produtividade e economia do processo.

Foram usadas ferramentas de simulação, a engenharia inversa e o controlo dimensional para estudar as peças.

Com as simulações pôde-se identificar locais de aprisionamento de ar, em nervuras, em redor de furos, nas saliências e algumas extremidades das peças. Ao modificar o *design* das peças pode-se ajudar a reduzir o aparecimento de defeitos, como por exemplo diminuir a altura de saliências. Observou-se que os reservatórios maquinados nos moldes estão bem posicionados, uma vez que estão colocados nas últimas zonas a encher e junto de locais prováveis de aprisionamento de ar.

A digitalização, análise de espessuras e a medição das peças ajudaram a identificar deformações e problemas relacionados com a contração.

Pela análise das espessuras, outras dimensões e massas das peças, tudo aponta para que a contração utilizada, 1%, seja superior ao necessário. Neste caso, a contração adequada, segundo as recomendações, deverá ser entre 0,85 e 0,9%, uma vez que as peças em causa apresentam espessuras inferiores a 7mm, tal como é assumido no projeto da *gate*.

Foram também documentadas as etapas de acabamento, observados os defeitos típicos das peças e as reparações realizadas, incompatíveis com as grandes séries.

Para as peças em estudo constatou-se que todas apresentam pequenos defeitos, mas também se verificou que todos esses defeitos conseguem ser corrigidos, ainda que isso implique tempo extra e que no caso de produção de grandes séries, tornaria impraticável, já que o tempo perdido com as reparações diminuiria muito a produtividade.

Para assegurar a completa polimerização do material, e evitar defeitos provocados pela contração devem usar-se espessuras mínimas superiores a 3 mm, já que este valor é uma

limitação do material, e trabalhar no limite aumenta a probabilidade de aparecimento de defeitos.

De forma a encontrar soluções, foram identificadas as dificuldades deste processo e sugeridas alterações que permitam melhorar a eficiência do processo relativamente ao enchimento das peças, a sua extração e acabamentos.

Assim enumeram-se as soluções possíveis de serem aplicadas num curto prazo, tendo em conta séries pequenas:

- Maquinar mais rasgos nos pratos da prensa, para posicionar o molde de forma mais adequada, melhorando o fecho do molde e evitando desperdícios de material.

- Para facilitar a extração da peça, utilizar um mecanismo simples de alavanca, acionado lateralmente, que pode ajudar a diminuir as deformações das peças, introduzidas durante a extração manual das peças.

- Para pequenas séries é possível optar por sistemas de suporte/fixadores, para as peças depois de injetadas, terminarem a sua cura e estabilizarem na posição pretendida (formas e medidas).

Considerando a otimização do processo tendo em vista as séries médias e grandes, sugerem-se as seguintes soluções:

- Optar por uma prensa basculante que facilita o enchimento da peça e ajuda à libertação de ar aprisionado dentro do molde, melhorando a qualidade final das peças, com redução de defeitos.

- Automatizar o processo, com mecanismos hidráulicos, de forma a permitir o uso de placas de extração e ainda movimentos do molde e de postigos.

- Reformular o *design* da *gate*, respeitando a queda de pressão e velocidades recomendadas para o processo, de forma a evidenciar o seu contorno. Desta forma pretende-se facilitar a trimagem da *gate* sem danificar a peça e fazer com que o novo *design* ajude na extração da peça.

- Apesar dos defeitos das peças serem facilmente reparados, pretende-se reduzir ou até mesmo eliminar estes tempos, de forma a aumentar a produtividade para grandes séries. Assim ao serem efetuadas as alterações enumeradas anteriormente (a prensa para facilitar o enchimento, hidráulicos que auxiliem a extração e um novo *design* da *gate*), podem-se reduzir os defeitos e consequente diminuição de tempo em reparações, contribuindo para a maior produtividade.

A oportunidade de estagiar no CEiiA, foi uma mais-valia, possibilitando o contacto com outros profissionais e novas tecnologias. Além da aprendizagem pessoal, permitiu aumentar os conhecimentos técnicos, relativamente ao processo em estudo, ao material usado, engenharia inversa, *software* de simulação, Moldflow, e de modelação, Catia.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da reação química que ocorre durante o processo RIM, reologia e viscosidade que levam à caracterização do material. Deste modo, podem-se criar modelos que permitam a simulação do processo de forma a auxiliar a fase de projeto das peças, prevendo e evitando situações problemáticas.

Testar variação de parâmetros do processo, tempo de cura, temperaturas de serviço (reagentes e molde) e verificar as suas influências e consequências nas peças.

6. Bibliografia

- A Design Guide. 1995. "RIM Part and Mold Design". *Bayer Corporation*:1-84. Acedido a 23 out. 2014.
- Abadie, MJ, M Dimonie, Christine Couve e V Dragutan. 2000. "New catalysts for linear polydicyclopentadiene synthesis". *European polymer journal* no. 36 (6):1213-1219.
- Adabbo, Humberto E e Roberto JJ Williams. 1982. "The evolution of thermosetting polymers in a conversion–temperature phase diagram". *Journal of Applied Polymer Science* no. 27 (4):1327-1334.
- Antunes, Viriato Teixeira de Abreu e. 2007. *Introdução aos polímeros*. Porto: [s. n.].
- Autodesk. http://images.autodesk.com/apac_anz/files/1337800339-simulation_moldflow_detail_brochure_en_us_v3.pdf.
- Bayer. <http://www.polyurethanes.bayer.com/en/Technologies/Processing/RIM.aspx>.
- Belofsky, Harold. 1995. *Plastics: product design and process engineering*. Hanser Publishers New York.
- Camboa, A, H Silva, A Teixeira e B Ribeiro. 2012. "Hybrid Design for Automotive Body Panels". *Metallurgy* no. 2011:11-01. Acedido a Fevereiro de 2014.
- Camboa, André, Bernardo Sousa Ribeiro, JP Nunes e Jorge Lino Alves. 2013. "A mechanical analysis of polydicyclopentadiene with metal inserts through flexural load". Acedido a Fevereiro de 2014.
- Castro, Jose Mario. 1980. "MOLD FILLING AND CURING STUDIES FOR THE POLYURETHANE RIM PROCESS". Ph.D., University of Minnesota. <http://search.proquest.com/docview/303024191?accountid=43623>.
- CEiiA. <http://www.ceia.com/>.
- "CES EduPack 2014".
- Ci-ESSE. <http://www.ci-esse.com/>.
- Constable, Gregory S, Alan J Lesser e E Bryan Coughlin. 2003. "Ultrasonic spectroscopic evaluation of the ring-opening metathesis polymerization of dicyclopentadiene". *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* no. 41 (12):1323-1333.
- . 2004. "Morphological and mechanical evaluation of hybrid organic-inorganic thermoset copolymers of dicyclopentadiene and mono-or tris (norbornenyl)-substituted polyhedral oligomeric silsesquioxanes". *Macromolecules* no. 37 (4):1276-1282.
- DeMeuse, MT, JK Gillham e F Parodi. 1997. "Evolution of properties of an isocyanate/epoxy thermosetting system during cure: Continuous heating (CHT) and isothermal time—temperature—transformation (TTT) cure diagrams". *Journal of applied polymer science* no. 64 (1):15-25.
- DOW. <http://www.dow.com/webapps/msds/ShowPDF.aspx?id=090003e880469e56>.
- Ebalta. http://www.ebaltadistribution.co.uk/support/downloads/product_datasheets/ebaboard/tooling_boards/datasheet_uk_ebaboard_w.pdf.
- Gaspar, Jorge Manuel Brites. 2006. "Estudo da cura e do comportamento reológico de sistemas poliméricos altamente reforçados em estereolitografia".
- Gouveia, António Filipe Gaspar. 2009. *Identificação e controlo adaptativo de máquinas RIM*. Porto: [s. n.].
- Graco. <http://www.graco.com/pt/pt/products/application/reaction-injection-molding-rim.html>.
- Inbrasp. <http://www.inbrasp.ind.br/tec07.php?lg=P>.
- Inchem. <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/77736.pdf>.
- INCHEM ORG. 2005. <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0873.htm>.

- IPCS. 2006.
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0873.pdf>.
- Janda, D.J. 1990. Bulk polymerized cycloolefin monomers containing microencapsulated blowing agents. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4891387>.
- JWRoss. http://www.jwross.com.au/catalogue/prodetails_body.php?prod=14973&page=1.
- Kessler, Michael R e Scott R White. 2002. "Cure kinetics of the ring-opening metathesis polymerization of dicyclopentadiene". *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* no. 40 (14):2373-2383.
- Klosiewicz, D.W. 1983. Method for making a dicyclopentadiene thermoset polymer. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4400340>.
- Klosiewicz, D.W. e G.M. Tom. 1987. A dicyclopentadiene thermoset polymer and a catalyst and a method for making it. Google Patents. <http://www.google.com/patents/EP0084888B1?cl=en>.
- Lane, P.C., G.M. Benedikt, L.P. Tenney e P.T. Strichartzuk. 1990. Liquid dicyclopentadiene feedstock for bulk polymerization. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4906797>.
- Le Gac, Pierre-Yves, Dominique Choqueuse, Marc Paris, G Recher, Celine Zimmer e D Melot. 2013. "Durability of polydicyclopentadiene under high temperature, high pressure and seawater (offshore oil production conditions)". *Polymer Degradation And Stability* no. 98 (3):809-817.
- Lee, L.J. 1980. "Polyurethane reaction injection molding: Process, Materials, and Properties". *Rubber Chemistry and Technology* no. 53 (3):542-599.
- Lotus Engineering Inc. An Assessment of Mass Reduction Opportunities for a 2017 – 2020 Model Year Vehicle Program.
- Macosko, Christopher W. 1989. *RIM: fundamentals of reaction injection molding*. Hanser Munich.
- Matweb. <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e6ba0a79906c46a9ba0ed1d9fbe8628b>.
- Melchior, Martin, Michael Sonntag, Claus Kobusch e Eberhard Jürgens. 2000. "Recent developments in aqueous two-component polyurethane (2K-PUR) coatings". *Progress in Organic Coatings* no. 40 (1):99-109.
- Mercedes-benz. <http://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/institucional/interacao-67.pdf>.
- Merck Index, 11th Edition. <http://en.wikipedia.org/wiki/Dicyclopentadiene>
- Metton. <http://www.metton.com/>.
- Minchak, R.J. 1984. Bulk polymerization of cycloolefins. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4426502>.
- Minchak, R.J. e P.C. Lane. 1987. Polymerization with metathesis catalyst and polyfunctional cycloolefin crosslinker. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4701510>.
- Moldex3D. <http://www.moldex3d.com/en/can-moldex3d/process/rim>.
- Monk, J. F. 1997. *Thermosetting plastics moulding materials and processes*. Vol. 2nd ed, Polymer Science & Technology Series. Harlow: Addison Wesley Longman.
- Ng, Hendra. 1992. "Studies of reactive polymer processing for dicyclopentadiene RIM and filled epoxy systems". Ph.D., Case Western Reserve University. <http://search.proquest.com/docview/304019966?accountid=43623>.
- NovaChem. 2008
<http://www.novachem.com/Pages/search-results.aspx?k=dcpd>.

- OMSgroup. http://www.omsgroup.it/en/our-products-category_products.php?id=15.
- Osborne Industries. <http://www.osborneindustries.com/>.
- Pang, KP e JK Gillham. 1990. "Competition between cure and thermal degradation in a high Tg epoxy system: effect of time and temperature of isothermal cure on the glass transition temperature". *Journal of applied polymer science* no. 39 (4):909-933.
- Pmirim. <http://www.pmirim.com/>.
- Polirim. <http://www.polirim.com/>.
- Pouzada, António Sérgio e Carlos Alves Bernardo. 1983. *Introdução à engenharia de polímeros*. Braga: Universidade do Minho.
- PPG. http://www.ppg.com/coatings/selemix/pt/TDS/Pages/410_TDSSystem.aspx.
- Premold. <http://www.premoldcorp.com/>.
- Prospector. <http://prospector.ides.com/Profile.aspx?ILR=RV&E=74414#T0CT0U0>.
- Ribeiro, Bernardo, FP Brito e Jorge Martins. 2010. "A survey on electric/hybrid vehicles".
- RIM MFG. <http://www.reactioninjectionmolding.com/>.
- Rimnetics. <http://www.rimnetics.com/structural-enclosures.cfm>.
- Rimstarinc. <http://rimstarinc.com/>.
- Rimtec. <http://www.rimtec.co.jp/en/index.html>.
- Robbialac. http://www.robbialac.pt/folder/produto/itc/657_602-0014%20-%20Desengordurante%20Anti-Silicone.pdf.
- Romeorim. <http://www.romeorim.com/>.
- Rosato, Dominick V., Donald V. Rosato e Matthew V. Rosato. 2004. "12 - Reaction Injection Molding". Em *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*, editado por Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato e Matthew V. Rosato, 406-427. Oxford: Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781856174312500153>.
- Rule, Joseph D e Jeffrey S Moore. 2002. "ROMP Reactivity of endo-and exo-Dicyclopentadiene". *Macromolecules* no. 35 (21):7878-7882.
- Rule, Joseph D. 2005. "Polymer chemistry for improved self-healing composite materials". Ph.D., University of Illinois at Urbana-Champaign. <http://search.proquest.com/docview/305001622?accountid=43623>.
- Santos, Ricardo J., André M. Teixeira e José Carlos B. Lopes. 2005. "Study of mixing and chemical reaction in RIM". *Chemical Engineering Science* no. 60 (8-9):2381-2398. Acedido a 2005/5//. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250904009121>.
- Santos, Ricardo Jorge Nogueira dos. 2003. *Mixing mechanisms in reaction injection moulding - RIM : An LDA/PIV experimental study and CFD simulation*. Porto: FEUP.
- Silva, Marta Flora Araújo. 2008. "Moldes protótipos para a produção de peças em RIM", Universidade do Minho.
- Simanke, Adriane Gomes 2001. "Influência do tipo e teor de comonômero na estrutura e propriedades de copolímeros de etileno sintetizados com catalisador metalocênico".
- Standox. <http://sdstds.sxcolor.info/ShowDocument.mvc/Tds/PT/pt/Standox%20PE%20Rapid%20Stopper%20U1080/a4abeb05-9822-48a7-a5b1-7f68d7545c3b>.
- Steinbichler. <http://www.steinbichler.pt/produtos/surface-scanning/digitaliza%C3%A7%C3%A3o-3d.html?gclid=CKjKsaXQ4r4CFbShtAodlR8AxA>.
- Teixeira, Alexandre e Bernardo Ribeiro. 2010. "USE OF DCPD/RIM ON EXTERIOR PANELS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY". Acedido a Fevereiro de 2014.

- Telene SAS. "<http://www.telene.com/>". <http://www.telene.com/>.
- . Telene Process Bock.
- . Março 2007. "Telene The cost effective solution for large parts from low to high volumes". RIMTEC.
- Tom, G.M. 1985a. Crosslinked molding material. Google Patents. <https://www.google.com/patents/US4507453>.
- . 1985b. Dicyclopentadiene thermoset polymer. Google Patents. <http://www.google.com/patents/US4507453>.
- Toplosky, VJ e RP Walsh. 2006. "Thermal and Mechanical Properties of Poly-Dicyclopentadiene (DCPD) at Cryogenic Temperatures". Comunicação apresentada em Advances in Cryogenic Engineering.
- Torcatto, Ricardo. 2013. "Modeling the product development process: the RIM case study".
- Universidade do Minho. 2007. http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/CP_I/0708F05.pdf.
- Vervacke, Dirk. 2008. *An Introduction to PDCPD: Poly-Di-Cyclo-Penta-Diene*. Product Rescue.
- Whelan, A. e J. A. Brydson. 1975. *Developments with thermosetting plastics*. London: Applied Science Publishers Ltd.
- Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Norbornene>.
- Yang, Yeong-Show, Eric Lafontaine e Bruno Mortaigne. 1997. "Curing study of dicyclopentadiene resin and effect of elastomer on its polymer network". *Polymer* no. 38 (5):1121-1130. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003238619600599X>.
- Yao, Zhen, Li-wu Zhou, Bin-bin Dai e Kun Cao. 2012. "Ring-opening metathesis copolymerization of dicyclopentadiene and cyclopentene through reaction injection molding process". *Journal of Applied Polymer Science* no. 125 (4):2489-2493. <http://dx.doi.org/10.1002/app.36359>.

ANEXO A: Processos de moldação por compressão, transferência e injeção – defeitos, causas e soluções

Processos de moldação – vantagens e desvantagens:

Fundamental considerations

7

Table I.1 Main advantages and disadvantages of the principal conversion processes

Advantages	Disadvantages
<i>Compression moulding</i>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Can mould heavily reinforced materials 2. Best method for mouldings with large surface area related to thickness 3. Greatest uniformity in moulded properties (i.e. isotropy) 4. Most versatile process with relation to quantities and component complexity 5. Simple to understand and control 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Labour intensive, with more material handling involved 2. Material losses due to the need for flash allowance and general wastage 3. Secondary operations for flash removal are generally required 4. Poor control of part thickness and weight 5. Difficult to mould round delicate inserts or pins
<i>Transfer moulding</i>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Improved labour utilization compared with compression moulding 2. Shorter cures often achievable compared with compression moulding 3. Good control of part (and flash) thickness 4. Suitable for incorporation of delicate inserts 	<ol style="list-style-type: none"> 1. More skill in terms of process control is required 2. Moulds often more complex and costly 3. Cannot use as wide a range of compounds as with compression moulding 4. Greater risk of distortion and directionality of mechanical properties (i.e. anisotropy) 5. Care often required to minimize effect of weld (knit) lines 6. Material losses in central feed system may be incurred
<i>Injection moulding</i>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Process offers scope for automatic operation 2. Rapid cycle times result from a substantial reduction in cure time 3. Good control of dimensions and flash thickness 4. Good part-to-part consistency 5. Can mould thin sections and (preferably with vertical clamp units) around delicate inserts 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Greater skill required in setting up and controlling the process 2. Machines and moulds are more expensive and complex 3. Process is not tolerant to stop-start conditions of operations 4. More fibre orientation and degradation than compression moulding 5. Care is often required to minimize effect of weld (knit) lines 6. Irrecoverable loss of materials in sprues and runners*

Processo de moldação por compressão – principais defeitos, causas e soluções:

Table 5.2 Compression moulding defects — causes and possible remedies

Defect	Cause	Remedy
Short moulding	1. Insufficient material 2. Pre-cure before cavity filled	Increase charge weight (a) Reduce delays in mould closing (b) Improve charge distribution (c) Select slower curing compound
Excessive flash	1. Too much material 2. Inadequate mould closure 3. Material too easy flowing	Reduce charge weight (a) Refurbish mould mating surfaces (b) Ensure parallelism of mould and platens (c) Eliminate wear in clamp unit Select stiffer material
Blisters, porosity and flow marks	1. Moulding undercured 2. Escape of gases restricted	(a) Increase cure time (b) Increase mould temperatures (c) Use faster cure compound (d) Reduce thick sections in moulding (a) Improve mould venting (b) Improve mould cleaning between cycles (c) Use breathing sequence
Burn marks	Local degradation of material	(a) Reduce mould temperatures (b) Improve mould venting
Poor ejection	1. Inadequate taper angles 2. Undercuts, etc. 3. Unbalanced ejection 4. Shrinkage onto pins, etc.	Increase taper angles Investigate and eliminate Refurbish or modify ejection system Taper pins or modify ejection system
Staining of mould	1. Trapped gases 2. Material characteristics 3. Unsatisfactory curing	Improve venting Respecify compound Change mould temperatures
Poor mechanical and electrical properties	1. Incorrect material 2. Moisture in material	Respecify compound Dry or replace compound

Processo de moldação por transferência – principais defeitos, causas e soluções:

Table 5.4 Transfer moulding defects — causes and possible remedies

Defect	Cause	Remedy
Short moulding	1. Insufficient material	(a) Check for clogged sprue (b) Increase charge weight
	2. Pre-cure before filling	(a) Reduce mould temperatures (b) Increase transfer pressure (c) Reduce preheat time (d) Select slower curing compound (e) Improve mould venting
Sprue sticking	1. Mechanical restriction	Check distortion and finish
	2. Undercure	(a) Increase pot temperature (b) Increase cure time
Poor ejection	1. Inadequate taper angles	Increase taper angles
	2. Undercuts, etc.	Investigate and eliminate
	3. Sticking of pin, inserts, etc.	Clean pins, modify inserts
	4. Undercure	(a) Increase mould temperature (b) Increase cure time (c) Increase pre-heat time or temp
Blisters and porosity	1. Trapped volatiles	(a) Pre-dry material (b) Improve venting (c) Increase pre-form temperature
	2. Mould temperature too high	Reduce mould temperature
Warped products	1. Undercure	(a) Increase cure time (b) Use stiffer flow material
	2. Temperature gradients	(a) Check uniformity of mould heating (b) Preheat inserts
	3. Flow effects	Consider different gate position
Excessive flash	1. Inadequate mould closure	(a) Ensure cleanliness of land faces (b) Refurbish land faces (c) Check for excessive wear
	2. Undercure	Reduce transfer pressure & speed
	3. Material flow	(a) Use stiffer flow compound (b) Increase mould temperature

Processo de moldação por injeção – principais defeitos, causas e soluções:

Injection moulding of thermosetting plastics

129

Table 6.1 Moulding defects — causes and possible remedies

Defect	Cause	Remedy
Porosity	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tool insufficiently vented 2. Injection speed too high 3. Mould temperature too low 4. Material insufficiently plasticized 5. Material too easy flowing 6. Insufficient shot weight 	<ol style="list-style-type: none"> (a) Increase or add vents (b) Include breathe sequence Decrease injection speed Increase mould temperature Increase barrel temperature Select stiffer material Increase feed volume
Short mouldings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insufficient shot weight 2. Material has too short a flow life 3. Mould too hot 4. Barrel too cold 5. If feed setting is on maximum 	Increase feed volume Select longer flowing material Reduce mould temperature Increase barrel temperature <ol style="list-style-type: none"> (a) Increase injection speed (b) Increase barrel temperature (c) Increase back pressure (d) Select easier flowing material (e) Vent mould (f) Increase gate size
Flow marks on moulding surface	Skin curing of injected material: <ol style="list-style-type: none"> 1. Too long a residence time in cavity before completion of fill 2. Material insufficiently plasticized 3. Grade of material has insufficient flow life 4. Lack of venting 	Increase injection speed Increase barrel temperature Selection material with longer flow life Increase or add vents
Excessive flash	<ol style="list-style-type: none"> 1. Too much feed 2. Gate area too small (multi-cavity moulds) 3. Material too stiff 4. Injection taking place before maximum clamp pressure is applied 	<ol style="list-style-type: none"> (a) Reduce feed volume (b) Reduce back pressure (c) Reduce injection speed and/or pressure <ol style="list-style-type: none"> (a) Balance feed system (b) Increase outer impression gate areas Select softer flow Adjust pressure switch
Warped mouldings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Too high a pressure gradient within mould cavity 2. Cure time too short 3. Ejection too fast 4. Gate position too asymmetrical 	<ol style="list-style-type: none"> (a) Increase injection speed (b) Reduce hold on pressure (c) Increase gate area (d) Select long-flow material Increase cure time Reduce ejection speed Relocate gate
Blisters on mouldings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Component uncured 2. Case hardening of moulding surface 	<ol style="list-style-type: none"> (a) Increase cure time (b) Increase mould temperature (c) Increase or add vents (d) Increase injection speed (e) Increase barrel temperature Decrease mould temperature
Cracks in vicinity of gate	<ol style="list-style-type: none"> 1. Over packing 2. Gate too small 	Decrease hold-on pressure and/or reduce hold-on pressure time Increase gate area

ANEXO B: Resultados Relacionados com o DCPD RIM

Hendra, 1992, fez uma investigação sobre as mudanças reológicas e cinéticas durante a polimerização adiabática, com o intuito de desenvolver diagramas de moldabilidade simplificados para a moldagem por injeção de reação de um sistema de polidiciclopentadieno.

Utilizou uma resina de DCPD da Telene SAS, formulada pela BFGoodrich Company com uma composição química de reagentes específicos (Ng 1992).

As conclusões tiveram como base a conjugação e interpretação de diferentes variáveis, tais como: Temperatura inicial dos monómeros, temperaturas atingidas e temperatura dos moldes, pressão de injeção, número de Reynolds, tempos, perda de peso, propriedades mecânicas atingidas, viscosidade e conversão da reação.

Seguem-se alguns resultados e respetivas análises (Ng 1992).

Num gráfico de temperatura adiabática vs tempo, durante a polimerização em massa, e com uma injeção de 120 psi (8.27 bar), mostra um período de introdução de 200 segundos, seguido por uma rápida polimerização, que se completa dentro de 1-5 seg.

A temperatura máxima atingida anda próximo dos 210-215°C. Esta rápida subida de temperatura promove pouco tempo para perdas de calor por condução.

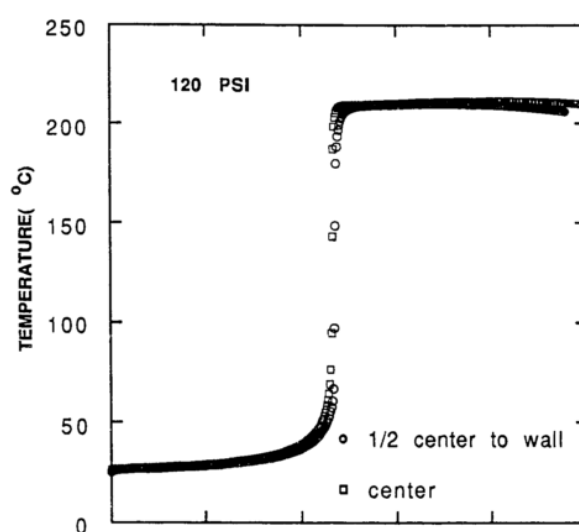
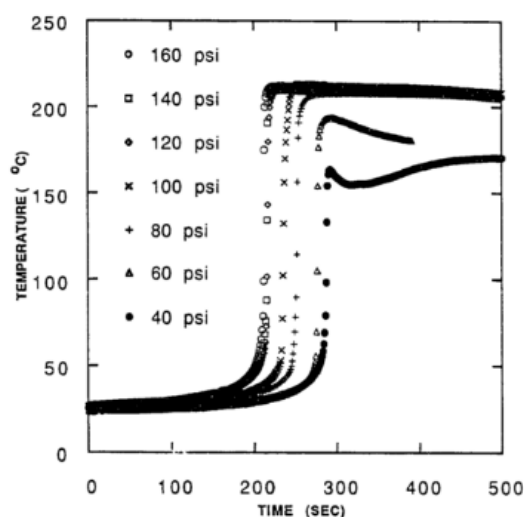


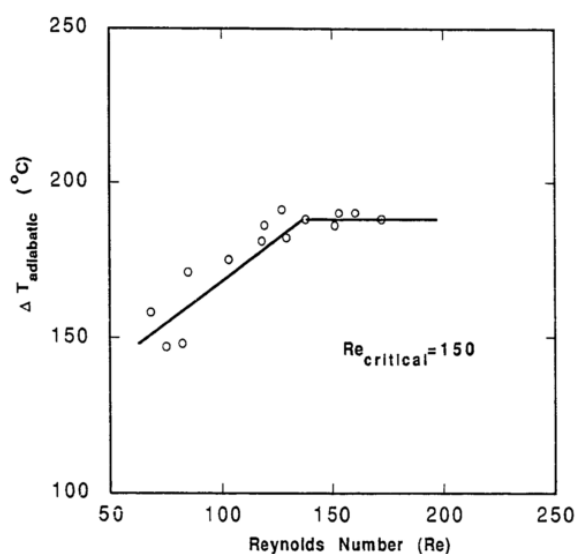
Gráfico temperatura adiabática vs tempo, perfil d polimerização do DCPD RIM (Ng 1992).

Na seguinte figura, observa-se que para pressões de injeção inferiores a 120 psi, resultam temperaturas máximas inferiores e tempos de gel superiores. As peças não ficam com tão boa qualidade, observam-se estrias de material que não reagiu.



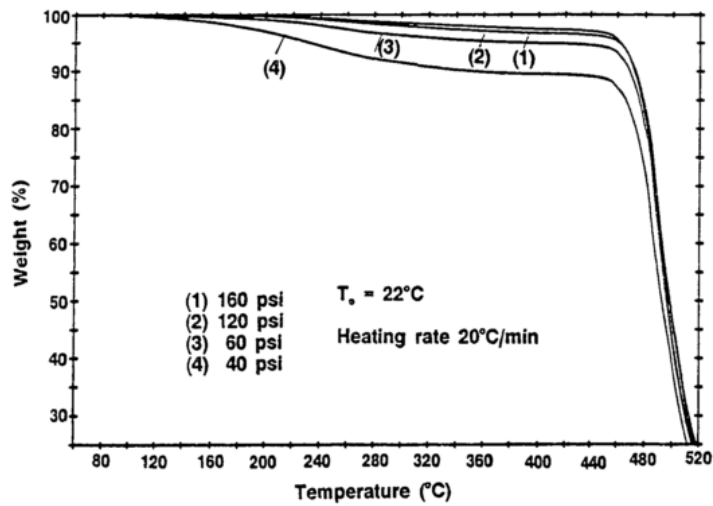
Perfil de Temperaturas adiabáticas vs tempo de polimerização a diferentes pressões de injeção e temperatura inicial do material de 22°C (Ng 1992).

No gráfico Temperatura Adiabática vs Reynolds, observa-se um valor crítico para $Re=150$. Para valores de Re maior ou igual a 150, atinge-se uma temperatura máxima e constante à volta dos 200°C.



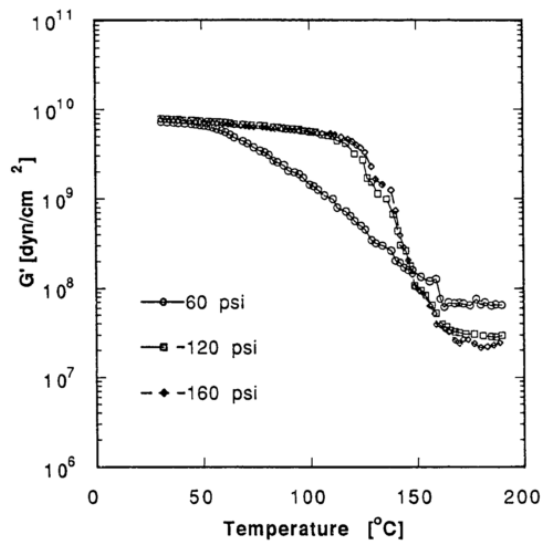
Aumento da temperatura adiabática vs Re , no sistema DCPD RIM (Ng 1992).

Segue-se a verificação de significantes perdas de peso, devido ao monómero de DCPD que não reagiu, para ensaios com pressões inferiores, (qualidade pobre da mistura).



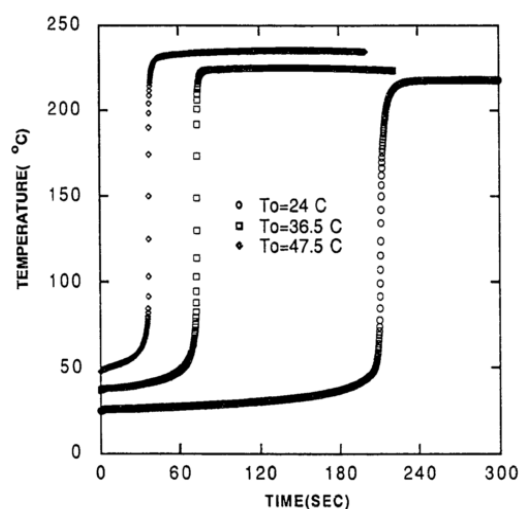
Perda de peso de amostras de várias injeções a diferentes pressões (Ng 1992).

Para pressão de injeção de 120 e 160 psi, há um módulo máximo definido. Concluindo-se que a cura de diferentes misturas pode dar origem a morfologias, propriedades físicas e térmicas diferentes.



Influência das pressões de injeção no módulo na cura do DCPD (Ng 1992).

Hendra também comparou a influência da temperatura inicial dos monómeros, no processo de polimerização e observou diferentes perfis:



Perfis de Temperaturas, para diferentes temperaturas iniciais dos monómeros durante a polimerização adiabática do sistema DCPD RIM (Ng 1992).

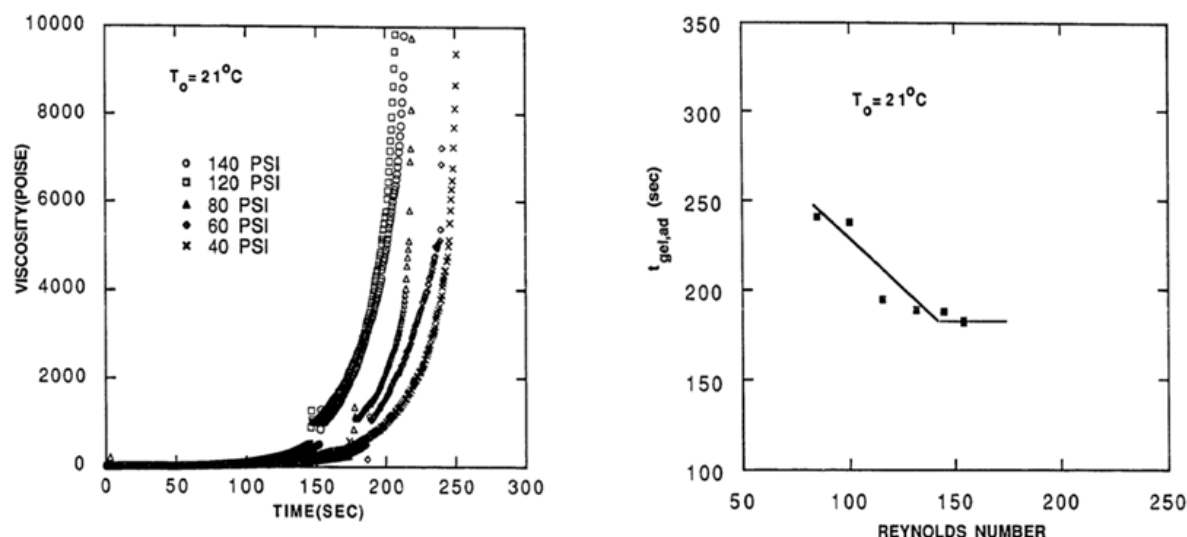
Conclui-se que a taxa de polimerização aumenta com o aumento da temperatura inicial do monómero. Quando as temperaturas iniciais do monómero são inferiores, há maiores tempos e temperaturas máximas inferiores.

Usando o modelo cinético autocatalítico com a contante de Arrhenius, prevê-se bem a reação de cura, apenas existindo um período retardado.

As alterações químico-reológicas que ocorrem durante o processo RIM são enormes. O sistema passa de um líquido de baixa viscosidade para um viscoelástico sólido dentro de um tempo muito curto. Em relação a viscosidade do sistema DCPD RIM, Hendra, obteve as seguintes conclusões:

- A partir das medições da viscosidade adiabáticas, o ponto do gel aparente corresponde ao aumento de aproximadamente 14 ° C, (7% do aumento de temperatura adiabático total de 190 ° C).

- Para números de Reynolds iguais ou superiores a 150, o tempo de gel aparente mantém-se aproximadamente constante, a mais baixos números de Reynolds, há um atraso no aumento da viscosidade, como resultado de uma mistura pobre.



Efeito da pressão de injeção na viscosidade durante a polimerização adiabática (à esquerda), e tempo de gel vs Re (à direita) (Ng 1992).

-O tempo de gel aparente diminui significativamente com o aumento da temperatura inicial de monômero.

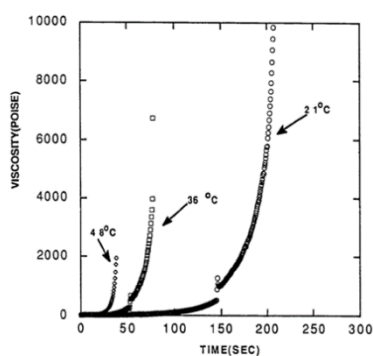


Figure 3-17 Viscosity versus time plots for three different initial monomer temperatures.

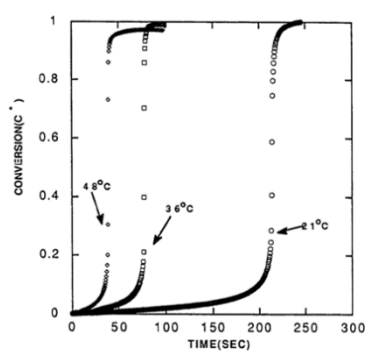


Figure 3-18 Conversion versus time plots for three different initial monomer temperatures corresponding to the viscosity profiles shown in Figure 3-17.

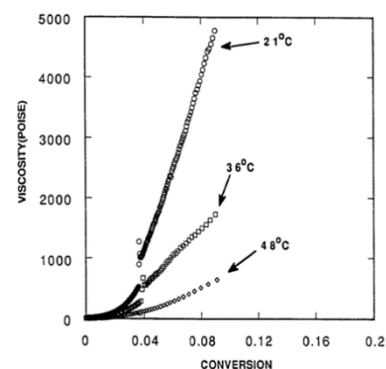


Figure 3-19 Viscosity versus conversion plots in the pregel portion for three different initial monomer temperatures.

Viscosidade vs temperatura inicial dos monômeros (à esquerda), Conversão vs temperatura inicial dos monômeros (no meio) e viscosidade vs conversão (à direita) (Ng 1992).

Para desenvolver os diagramas de moldabilidade para as fases do enchimento e cura do sistema DCPD RIM, foram utilizados dados experimentais obtidos usando um molde retangular e várias condições de moldação para verificar a validade de tais diagramas. Estas abordagens de engenharia foram simples. As propriedades físicas e térmicas, tais como o módulo de flexão, resistência ao impacto, temperatura de distorção térmica, a temperatura de transição do vidro, propriedades mecânicas dinâmico e perda de peso, foram obtidas para as amostras sob diversas condições de processo dentro de condições de moldação semelhantes seguem-se os resultados:

Table 4-1. Summary of Flexural Modulus and Impact Strength at Various Initial Material Temperatures and Mold Wall Temperatures

T ₀ (°C)	T _w (°C)	t _d (min)	Flexural Modulus (psi)	Notch Izod Impact Strength (lb ft/in)	Plaque Appearance
22	40-30	8	200100 (±24510)	9.56 (±0.32)	bad
22	40-30	6	192500 (±24710)	9.96 (±0.94)	bad
22	50-40	3	193600 (±19680)	9.92 (±1.05)	bad
22	50-40	3	199500 (±6229)	11.23 (±1.23)	bad
22	70-60	3	222100 (±29330)	10.22 (±1.09)	good
22	80-70	3	202100 (±31780)	10.95 (±0.91)	good
22	90-80	3	216100 (±5216)	10.68 (±0.41)	good
27	60-50	3	226500 (±4966)	10.54 (±0.65)	good
27	70-60	1.5	220200 (±4610)	11.51 (±1.27)	good
32	50-40	3	218600 (±12710)	11.31 (±1.08)	good
32	70-60	3	221600 (±27480)	11.47 (±0.70)	good
32	90-80	3	206300 (±10490)	10.27 (±1.05)	good
33	60-50	3	228900 (±12070)	10.95 (±0.97)	good
33	70-60	2	207200 (±30270)	10.98 (±0.51)	good
33	70-60	3	223500 (±26000)	11.60 (±0.53)	good
33	70-60	5	219700 (±9741)	11.49 (±0.50)	good
42	40-30	5	211000 (±10020)	9.31 (±0.68)	bad
42	50-40	3	209600 (±23890)	12.21 (±1.37)	good
42	50-40	3	212900 (±4003)	10.71 (±0.74)	good
42	70-60	2	226300 (±7925)	11.70 (±0.44)	good
42	70-60	3	220800 (±11910)	11.28 (±1.21)	good
42	70-60	3	220800 (±12190)	11.22 (±1.25)	good
42	70-60	5	215700 (±16050)	11.70 (±1.15)	good
42	80-70	3	235600 (±5367)	11.47 (±0.98)	good
42	90-80	3	208200 (±570)	12.28 (±1.76)	good

Table 4-2.

Summary of Heat Deflection Temperature (HDT) of RIM-Molded Samples

Mold Wall Temp (°C)	Initial Material Temp (°C)	Demold Time (min)	HDT (°C)
70-60	27	1.5	110
80-70	42	3	107
80-70	22	3	107
90-80	32	3	101
70-60	32	3	105
50-40	32	3	100
70-60	33	2	107
70-60	33	3	103
70-60	33	5	109

Table 4-3.

Summary of DSC Data for Molded RIM Parts at Various Molding Conditions

Mold Wall Temp (°C)	Initial Material Temp (°C)	Demold Time (min)	Glass Transition Temp (°C)
70-60	23	3	148
70-60	33	3	145
70-60	42	3	146
60-50	42	3	146
90-80	42	3	144

As propriedades físicas das partes moldadas em RIM e as amostras adiabáticas polimerizadas indicam um grau semelhante de conversão do monômero. O recozimento de peças moldadas em DCPD RIM não muda as propriedades físicas sugerindo que a pós-cura não é necessário.

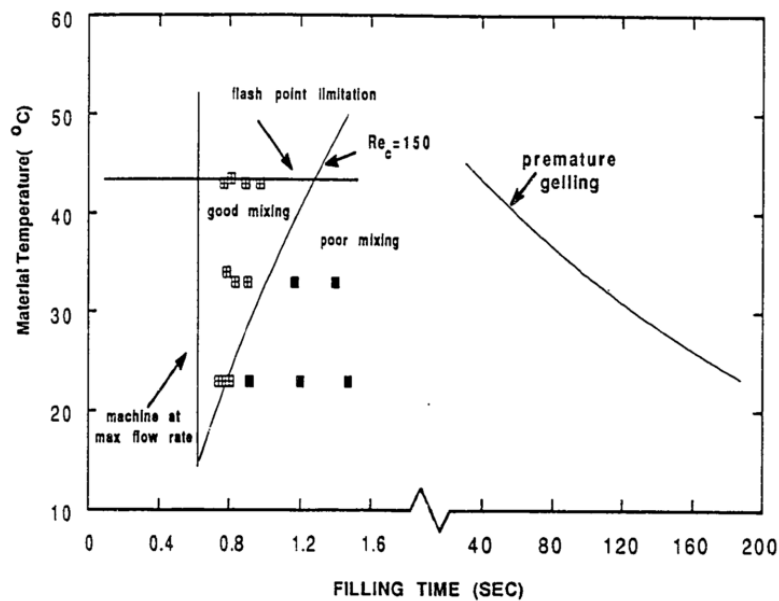
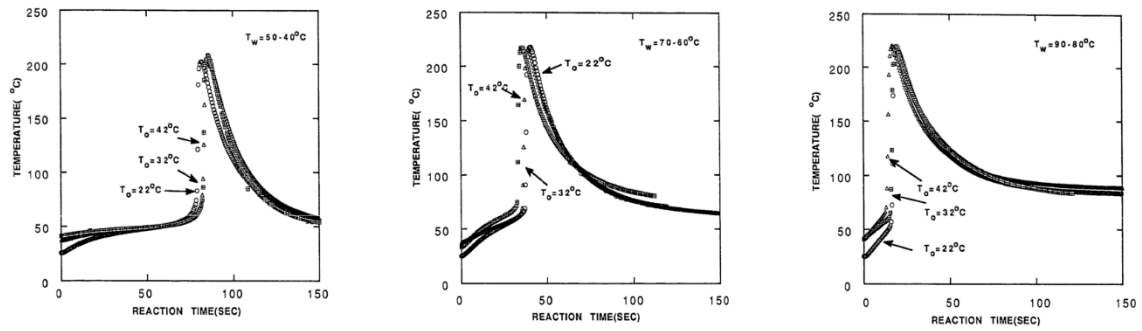


Diagrama de Moldabilidade da fase de enchimento do DCPD RIM (Ng 1992).



Efeito da temperatura inicial dos monómeros, no perfil de temperaturas durante a cura do sistema, com os moldes a temperatura entre 50-40°C (à esquerda), 70-60°C (no meio) e 90-80°C (à direita) (Ng 1992).

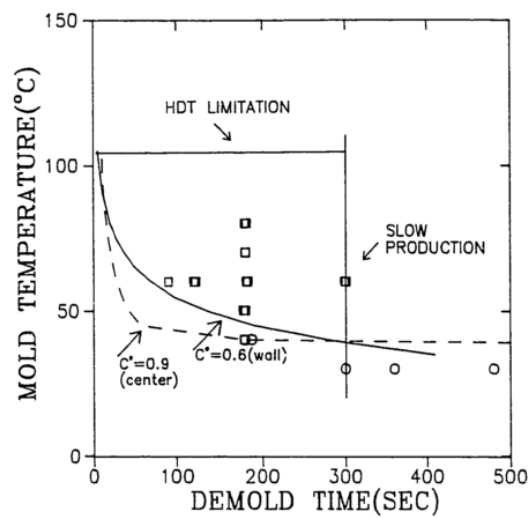
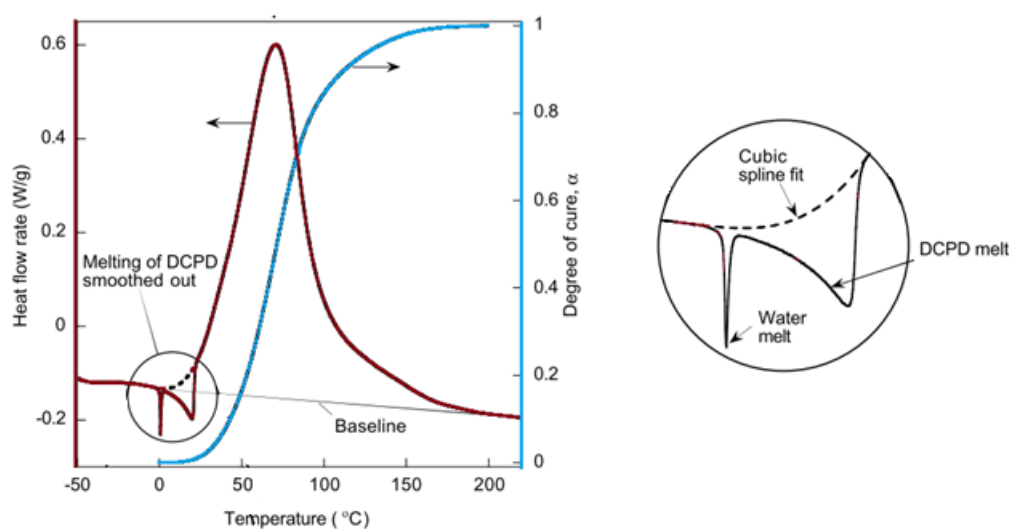
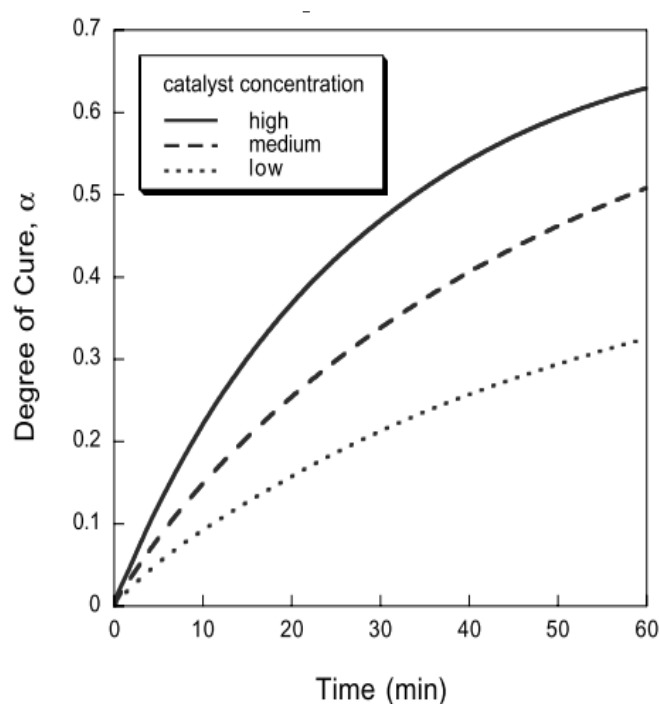


Diagrama de de moldabilidade durante a fase de cura, quadrados correspondem a peças boas e os círculos a peças más (Ng 1992).

Kessler e White, 2002, testaram vários modelos de cinética fenomenológica, concluindo que a energia de ativação aumenta significativamente para graus de cura superior a 60%. A concentração de catalisador mostra ter um grande efeito sobre a cura cinética (Kessler e White 2002).



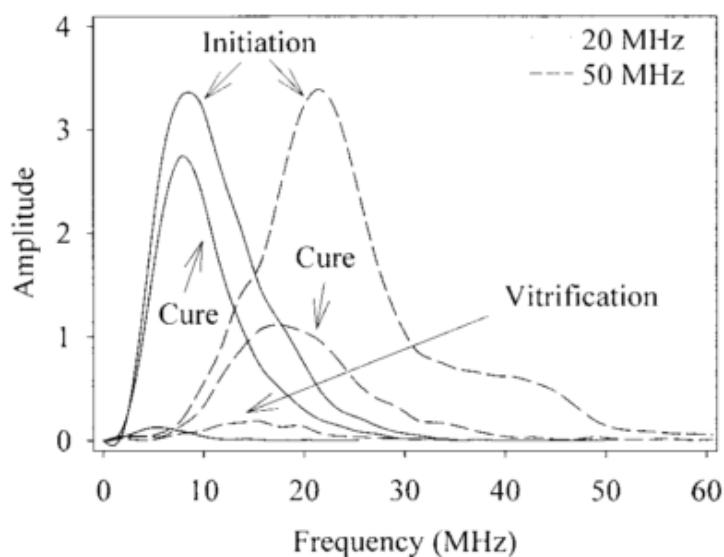
Scan típico DSC a 5 ° C / min e o grau de cura correspondente (Kessler e White 2002).



Previsões para cura isotérmica a 30 °C com base no livre-modelo, para diferentes concentrações de catalisador. Com a curva de maior concentração de catalisador a atingir graus de cura mais elevados (Kessler e White 2002).

White et al., relatou sobre um sistema que englobava DCPD e o catalisador de Grubbs numa matriz epóxi, que conseguia reparar o material em caso de dano (Kessler e White 2002).

Em 2003, foi a vez de Constable, Lesser e Coughlin estudarem o ROMP de DCPD através de espectroscopia por ultrassons. O ponto de gel, a vitrificação e informação qualitativa sobre a velocidade da reação pode ser determinada a partir desta análise (Constable, Lesser, e Coughlin



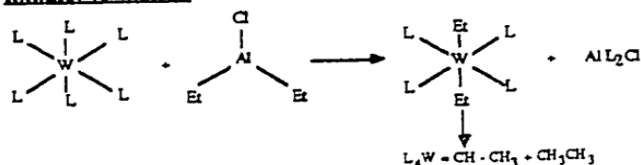
Espectros de potência no início, a vitrificação e cura de DCPD, medida com transdutores de 20 e 50 MHz (Constable, Lesser, e Coughlin 2003).

2003).

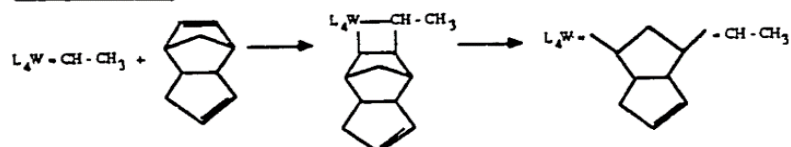
Ao monitorizar as polimerizações do DCPD a temperaturas diferentes, confirmou o comportamento de Arrhenius da reação de reticulação (Constable, Lesser, e Coughlin 2003).

Segue-se uma representação das etapas da metátese do DCPD (Macosko 1989):

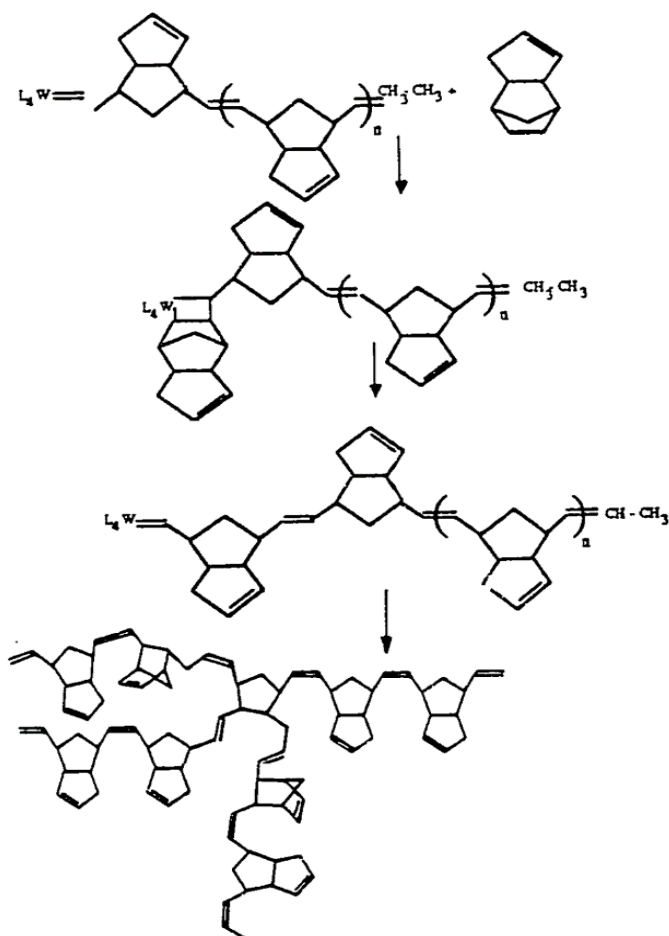
Initiator formation



Chain Initiation



Chain Propagation



Representação das etapas da metátese do DCPD (Macosko 1989).

O iniciador é um catalisador formado pela reação do tungstênio ou composto de molibdênio com um cloreto de alquil-alumínio, que abre o anel de norborneno altamente tenso (Ng 1992).

O norbornene é um hidrocarboneto (*bridged cyclic hydrocarbon*) (Wikipedia). A propagação é por meio do mecanismo de metátese-norborneno. Todo este mecanismo de polimerização do DCPD é um processo complexo (Ng 1992).

Toplosky e Walsh, 2006, caracterizam 5 tipos de Poli-DCPD, em termos de propriedades mecânicas e térmicas a temperaturas criogênicas (Toplosky e Walsh 2006).

Sistemas catalíticos baseados em Rutênio foram introduzidas no PDCPD e ao contrário de seu homólogos PDCPD de molibdênio / tungstênio, são menos suscetíveis a impurezas, tais como humidade, oxigênio e quase inodoros. As propriedades mecânicas e térmicas também melhoram significativamente.

Concluíram que o Poli - DCPD tem mostrado excelentes propriedades criogênicas. Apesar das formulações das 5 amostras serem ligeiramente diferentes, o módulo de elasticidade é cerca de 5 GPa, independentemente da fórmula que é indicativa de um polímero flexível, que conjuga elevada resistência à tração e à compressão. O material também apresenta boa tenacidade, que é um parâmetro importante em muitas aplicações de baixa temperatura. O poli - DCPD tem contração térmica mais elevada que outros polímeros. Estas características permitem que seja usado em aplicações criogênicas, e também em matriz para compósitos reforçados com fibras para as mesmas aplicações (Toplosky e Walsh 2006).

Em relação à durabilidade do polidiciclopentadieno à alta temperatura, alta pressão e à água do mar, Le Gaca, e D. Choqueusea, entre outros autores, em 2013, verificaram que o PDCPD utilizado em revestimento de isolamento térmico de tubos de aço das petrolíferas mostra boas características de processamento e baixa condutividade térmica, 0.17 W/m.K.

Desta forma, este polímero pode ser uma boa alternativa nesta indústria, mas cuja durabilidade sob condições marítimas é desconhecida. Este trabalho apresenta resultados de um estudo de envelhecimento acelerado de PDCPD na água do mar a temperaturas de 90 ° C a 180 ° C durante 18 meses.

Para o envelhecimento a temperaturas abaixo de Tg (isto é, 155 ° C), o único mecanismo de degradação é a oxidação, ao passo que para o envelhecimento a temperaturas acima de Tg é observado um processo de polimerização do material. Com o envelhecimento o polímero demonstra uma mudança de comportamento dúctil para quebradiço (Le Gac et al. 2013).

Em 2013, Zhen Yao, Li-wu Zhou e outros autores, estudaram as influências da composição do monômero, concentração do catalisador de Grubbs e temperatura de reação, no tempo de gel e na conversão do monômero. E verificaram que o pós cura no processo RIM é necessário para atingir uma conversão do monômero de 100%. Verificaram ainda que a adição de CPE-ciclopenteno pode reduzir a taxa de perda de peso no processo de TGA (*thermogravimetric analysis*) - análise Termo gravimétrica e que melhora as propriedades mecânicas. Seguem-se alguns dos resultados deste estudo (Yao et al. 2012):

Influência da concentração de Catalisador e CPE no DCPD (Yao et al. 2012).

Monomer/ CAT	Gelification time (min)	Conversion of CPE (%)	Conversion of DCPD (%)	Total Conversion (%)
30000/1	9	95.7	99.2	98.1
60000/1	16	97.7	98.9	98.5
120000/1	15	97.5	99.3	98.7
180000/1	42	99.8	99.9	99.9
240000/1	48	94.8	98.7	97.4

^a Reaction temperature is 35°C; DCPD/CPE = 1/1.

Influência da Temperatura no CPE* e no DCPD (Yao et al. 2012).

Temperature (°C)	Gelification time (min)	Conversion of CPE (%)	Conversion of DCPD (%)	Total Conversion (%)
35	17	83.9	98.7	97.9
50	5	85.3	99.6	98.8
60	3	83.1	99.8	98.9

^a Monomer/CAT = 60,000; DCPD/CPE = 9/1.

Propriedades do DCPD com CPE, a diferentes temperaturas de pós-cura, com o processo RIM (Yao et al. 2012).

Properties	Units	[M]/CAT = 30,000; DCPD/CPE = 9			[M]/CAT = 60,000; DCPD/CPE = 9		
		Postcuring temperature/°C			Post-curing temperature/°C		
		160	180	200	160	180	200
T_g	°C	145.3	144.0	144.4	145.1	145.1	145.6
Tensile modulus	Mpa	1560 ± 40	1660 ± 30	1530 ± 20	1430 ± 40	1390 ± 20	1490 ± 20
Tensile yield strength	Mpa	53.1 ± 2	52.4 ± 0.5	51.7 ± 1	51.9 ± 2	50.8 ± 2	52.4 ± 1
Yield elongation	%	8.7 ± 0.1	7.0 ± 0.2	6.8 ± 0.1	8.0 ± 0.1	7.5 ± 0.1	7.5 ± 0.1
Elongation at break	%	55.4 ± 2	11.6 ± 0.5	14.9 ± 0.5	32.7 ± 2	37.0 ± 2	16.3 ± 2
Flexural modulus	Mpa	1630 ± 40	1560 ± 40	1440 ± 30	1660 ± 40	1540 ± 20	1710 ± 30
Flexural strength	Mpa	67.0 ± 2	65.4 ± 2	63.6 ± 1	70.4 ± 1	65.9 ± 1	72.4 ± 1
Breaking displacements	mm	23.4 ± 0.5	21.7 ± 1	23.0 ± 0.5	23.0 ± 0.5	23.4 ± 0.5	23.0 ± 1
Notched impact strength	KJ/m ²	5.0 ± 0.2	4.62 ± 0.2	4.44 ± 0.2	4.30 ± 0.2	4.89 ± 0.2	5.0 ± 0.2

ANEXO C: Ficha Técnica da Resina Telene

Telene*Innovative chemistry for designers* 1/1

Values data sheet Telene®

Properties	Standard N°	Unit	1650	1651	1620
Specific Gravity	ASTM D792		1.03	1.03	1.03
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	1870	1870	Nd.
Tensile Strength @ Yield	ISO 527	MPa	43	43	44
Elongation @ Yield	ISO 527	%	5	5	Nd.
Flexural Strength	ISO 178	MPa	67	67	67
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	1850	1850	1850
Impact Strength (notched Izod) @ +23 °C	ASTM D256	KJ/m ²	30	30	22
Rockwell Hardness	ASTM D785		HRR 114	HRR 114	HRR 114
Glass Transition Temperature	Method 1	°C	155	155	Nd.
Heat Distortion Temperature (under 1.8 MPa Load)	ASTM D648	°C	120	120	112
Linear Thermal Expansion	ASTM D696	m/m/°C	79 x 10 ⁻⁶	79 x 10 ⁻⁶	79 x 10 ⁻⁶
Processing Parameters					
Smoke time @ 30°C	Method 4	Sec	90 +/- 10	110 +/- 10	90 +/- 10
Initial Viscosity @ 30°C	Brookfield	Cps	310 to 390	310 to 390	210 to 290
Exotherm Temperature	Method 4	°C	> 180	> 180	> 180

TELENE SAS – Route d'Arras - F - 62320 Drocourt - Tel. +33-321 08 83 20 - Fax +33-321 49 73 61

The information contained herein is believed to be reliable, but no representations, guarantees or warranties of any kind are made as to its accuracy and suitability for particular applications or the results to be obtained.

ANEXO D: Ficha Técnica da Resina Metton

Table I
Typical Properties of METTON® LMR Polymer

Property	ASTM Method	M15XX ⁽¹⁾	M2100VO ⁽²⁾
Density, g/cm ³ (lbs/in ³)	D792	1.03 (0.037)	1.20 (0.043)
24 Hr. Water Absorption	D570	0.12%	—
Tensile Modulus, GPa (Ksi)	D638	1.90 (275)	1.98 (287)
Tensile Strength @ yield, MPa (Ksi)	D638	46.8 (6.8)	44.8 (6.5)
Flexural Modulus, GPa (Ksi)	D790	1.88 (273)	2.01 (291)
Flexural Strength @ 5% strain, MPa (Ksi)	D790	70 (10.1)	74.5 (10.8)
Yield Strain	D638	4.7%	4.0%
Rockwell Hardness	D785	R114	—
Notched Izod Impact, J/m (ft-lb/in) @ 23°C (73.4°F)	D256	460 (8.7)	342 (6.4)
@ -40°C (-40°F)		106 (2.0)	53.4 (1.0)
Compression Strength, MPa (Ksi)	D695	58.4 (8.5)	—
Shear Strength, MPa (Ksi)	D732	49.5 (7.2)	—
DTUL @ 264 psi, °C (°F)	D648	108 (226) ⁽³⁾	105 (221)
Glass Transition Temperature, °C (°F)	DMA ⁽⁴⁾	>138 (>280)	—
Coefficient of Thermal Expansion, m/m/°C (in/in/°F)	D696	87.8x10 ⁻⁶ (48.8x10 ⁻⁶)	—
Dielectric Constant 60Hz @ 73°F	D150	2.66	—
Dissipation Factor 60Hz @ 73°F	D150	0.0006	—
Shrinkage in/in (mm/mm)		0.009	0.007
Poisson's Ratio (ν)		0.39	0.39
Flame Class Rating ⁽⁵⁾	UL	HB	V-O

- (1) 5.5 mm (0.215 in.) plaques molded at cavity and core temperatures of 87°C and 57°C respectively.
 (2) 3.2 mm (0.125 in.) plaques molded at cavity and core temperatures of 87°C and 57°C respectively.
 (3) HDT will vary with part thickness. Generally about 108°C (226°F) for 3.2mm (0.125 inch) thick plaques and 120°C (248°F) for 5.5mm (0.217 inch) thick plaques
 (4) Dynamic Mechanical Analysis
 (5) M15XX meets UL yellow-card flame-resistance criteria of UL94-HB at a thickness of 0.125" (3.2mm) and above. M21XXVO meets flame-resistance criteria of UL94-V0 at a thickness of 0.125" (3.2mm) and above [testing indicates it will pass UL 94-5V at a thickness above 0.225" (5.7mm)].

Maximum Metton LMR Part Weight in Kg (lbs)

Per RIM Machine Capacity (liquid temperature at injection 25°C)

RIM Injection Unit @Max Injection Rate Kg/sec (lb/sec)	Part Thickness (mm)	Tmax (seconds)			
		6.5	9	10	11
0.75 (1.6)	4	6.2 (13.5)	8.5 (19)	9.5 (21)	10.4 (23)
	6	9.2 (20)	12.7 (28)	14.2 (31)	15.5 (34)
	8	12.2 (27)	17 (37)	18.8 (41)	20.8 (46)
1.0 (2.2)	4	8.2 (18)	11.3 (25)	12.6 (28)	13.8 (30)
	6	12.3 (27)	16.9 (37)	18.9 (42)	20.7 (46)
	8	16.3 (36)	22.6 (50)	25.1 (55)	27.7 (61)
1.5 (3.3)	4	12.3 (27)	17 (37)	18.9 (42)	20.7 (46)
	6	18.5 (41)	25.4 (56)	28.4 (62)	31.1 (68)
	8	24.5 (54)	33.9 (75)	37.7 (83)	41.5 (91)
2.5 (5.5)	4	20.5 (45)	28.3 (62)	31.5 (69)	34.5 (76)
	6	30.8 (68)	42.4 (93)	47.3 (104)	51.8 (114)
	8	40.8 (90)	56.5 (124)	62.8 (138)	69.3 (152)

Typical Metton® LMR Molding Conditions

Metton LMR liquid temperature	A component B component	28-30°C 28-30°C
Injection speed	Depends on capacity of injection machine	0.5-2.5 kg/sec (1.1-5.5 lb/sec)
Injection time	Depends on part thickness, mold temperatures, etc.	9-11 sec (up to 15 sec in special cases)
Nitrogen pressure in day-tanks		0.2 - 0.7 bar (3 - 10 psi)
Impingement velocity (speed of each stream in mix-head)		>65 m/s
Pressure in nozzle		70-140 bar
Liquid velocity at the gate	Part thickness; 4.5mm or less	< 4.5 m/s
	Part thickness; 4.5mm or more	< 2.5 m/s
Tool temperature	Cavity	80-85°C
	Core	45-50°C
	Difference between Cavity & Core	25-30°C
Mold release		None unless ribs or bosses cause core sticking
Nitrogen purge into tool		0-15 sec
Demold time	@3 mm (thickness)	40-60 sec
	@5 mm	60-90 sec
	@8 mm	70-120 sec
Cleaning of tool	Cavity	None
	Core	Partial, if defects are on the part
Press machine	Opening time	30-60 sec
	Closing time	30-60 sec

Typical Metton® LMR Molding Cycle

	Minimum (sec)	Maximum (sec)
Closing the mold	30	60
Interval to the next step	5	10
Nitrogen purge into tool	0	15
Interval to the next step	5	10
Injection time	10	10
Demold time	40	120
Opening the tool	30	60
Interval to the next step	5	10
Pulling out the part	30	60
Cleaning the tool	0	120
Interval to the next step	5	10
Total	160 sec (2 min 40 sec)	485 sec (8 min 5 sec)

The tool temperatures should be recovered within the cycle. The heat transfer of the mold material and waterline design will determine the cycle time.

ANEXO E: Ficha Técnica da Resina Pentam

PENTAM® 1600

Zeon Chemicals L.P. - *Dicyclopentadiene*

Units

SI

General Information

Product Description

PENTAM® is Dicyclopentadiene (DCPD) polymer processed using RIM (Reaction Injection Molding) equipment. DCPD is the material in C5 fraction. ZEON is well known as an internationally superior C5 fraction supplier.

PENTAM® has high performance properties such as stiffness, high impact strength, good thermal behavior and specific corrosion resistance. PENTAM® offers a self-demolding production.

PENTAM® enables to design a variable thickness within the part. It is easy to increase the rigidity of the product by molded-in ribs or glueing of omega-shaped reinforcement. PENTAM® offers any type of fixation such as over-molded inserts, self-threading inserts, and rivets. There is No Size or Weight Limitation in PENTAM®.

ZEON offers the comprehensive support from product designing to commercial production.

PENTAM® is a low density polymer because no fiber reinforcement is needed. PENTAM® shows an excellent combination of stiffness and impact resistance, even at very low temperature (-40°C). PENTAM® has corrosion resistance and a good dimension stability. PENTAM® offers an excellent paint and adhesive adhesion and ease of machining (drilling, threading).

General

Material Status

Commercial: Active

Availability

Asia Pacific

Features

Good Adhesion

Good Chemical Resistance

Good Corrosion Resistance

Good Dimensional Stability

High Impact Resistance

High Rigidity

High Stiffness

Low Temperature Impact Resistance

Paintable

Uses

Automotive Applications

Construction Applications

Housings

Medical/Healthcare Applications

Septic Tanks

Forms

Pellets

Processing Method

Reaction Injection Molding (RIM)

ASTM & ISO Properties¹

Physical

Nominal Value

Unit

Test Method

Specific Gravity

1.04

g/cm³

ASTM D792

Molding Shrinkage - Flow

0.0080

%

ASTM D955

Mechanical

Nominal Value

Unit

Test Method

Tensile Strength (Yield, 23°C)

44.0

MPa

ASTM D638

Tensile Elongation (Yield)

8.0

%

ASTM D638

Flexural Modulus (23°C)

1750

MPa

ASTM D790

Flexural Strength (23°C)

65.0

MPa

ASTM D790

Impact

Nominal Value

Unit

Test Method

Notched Izod Impact

ASTM D256

-30°C

250

J/m

23°C

350

J/m

Hardness

Nominal Value

Unit

Test Method

Rockwell Hardness (R-Scale)

114

ASTM D785

Thermal

Nominal Value

Unit

Test Method

Deflection Temperature Under Load (1.8 MPa, Unannealed)

120

°C

ASTM D648

Flammability

Nominal Value

Unit

Test Method

Flame Rating

HB

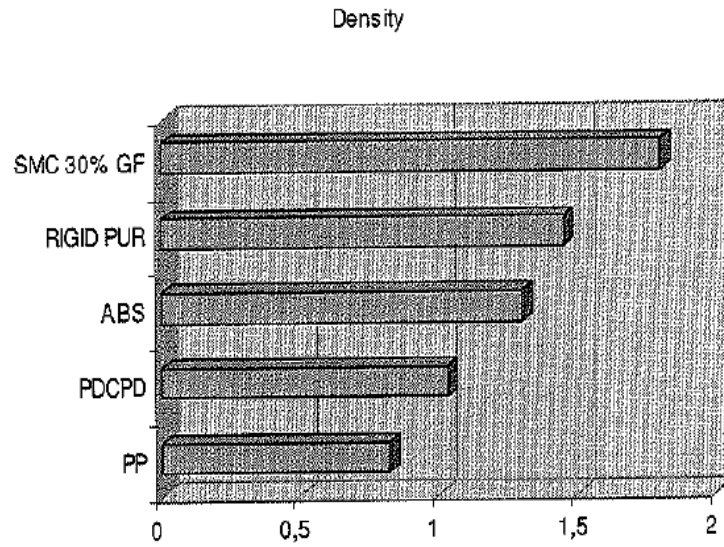
UL 94

Notes

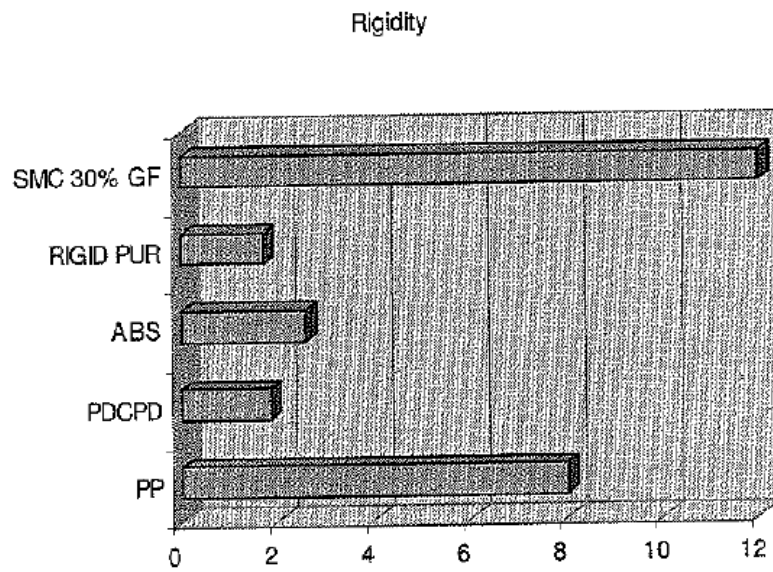
1

Typical properties: these are not to be construed as specifications.

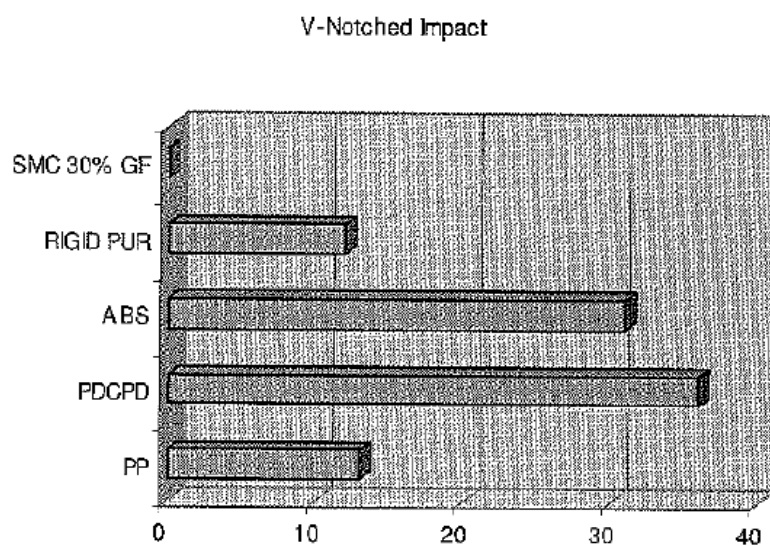
ANEXO F: Comparação de algumas propriedades do DCPD com outros materiais



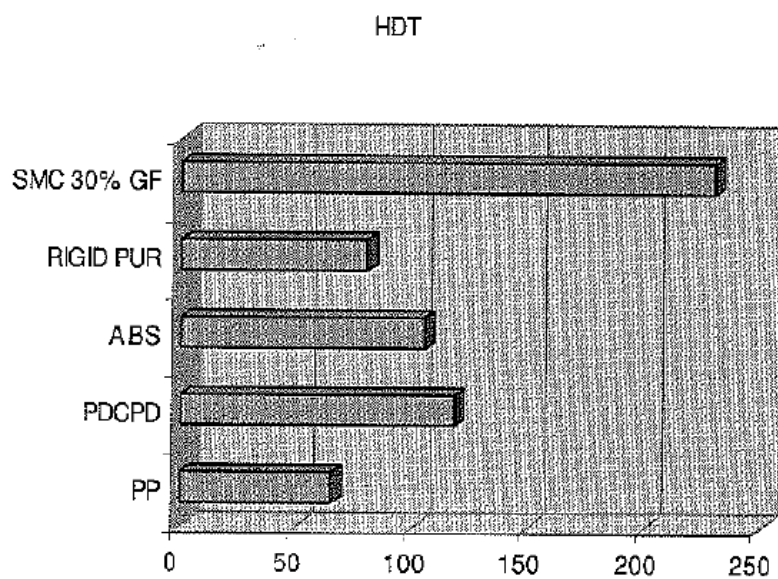
Comparação de densidades (Vervacke 2008).



Comparação da Rigidez dos materiais em estudo (Vervacke 2008).



Comparação da Resistência ao impacto dos materiais (Vervacke 2008).



Comparação de HDT (*heat deflection temperature*) - Temperatura de Distorção Térmica (Vervacke 2008).

ANEXO G: Guias de Design de Referência da Romeo Rim

Quick Design Reference Guide for Romeo RIM Materials



Part Design	Solid Elastomers				Structural Foam			Composite	DCPD
	XGT10	XGT100	110-50	110-80	18006S	671	730	LFT	Metton
Wall Thickness "T" (in)	0.12 - 0.236	0.12 - 0.236	0.12 - 0.236	0.12 - 0.236	0.167 - 0.275	0.118 - 0.482	0.118 - 0.482	0.059 - 0.300	0.079 - 0.630
Rib Thickness @ Base	0.75t	0.75t	0.75t	0.75t	0.75t	t	t	t	0.75t
Part Draft (degrees)	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5	1.5 - 5
Molded holes/features	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Undercut/Tool Action	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Snap Fits	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Fillets/Radius (in)	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/8	1/8	1/8	1/16
Insert Molding/Encapsulation	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Surface Finish	Solid Elastomers				Structural Foam			Composite	DCPD
	XGT10	XGT100	110-50	110-80	18006S	671	730	LFT	Metton
Grained Surface	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
High Gloss - Class A Top-Coat Paint	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
High Gloss - Class A In-Mold Paint	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No

Mold Design & Processing Parameters									
Mold Material	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20	Nickel Shell Aluminum P20
Gating Style	Fan	Fan	Fan	Fan	Fan	Dam/Direct	Dam/Direct	N/A	Fan
Shot Time (sec)	1.5	1	1	1	1.8	10	7	25	15-20
Mold Pressure (psi)	100	100	100	100	100	200	200	150	600
Mold Temperature (°F)	150 - 170	155 - 165	140 - 158	140 - 149	160 - 165	140 - 160	150 - 170	160 - 170	80 - 120

Physical Properties									
Flexural Modulus @ 73°F (psi)	100000	100000 - 210000	52000 - 155000	80000 - 150000	131000 - 294000	211000 - 303000	58000 - 179000	92000 - 206000	273000
Part Density (pcf)	66.3	65 - 72	65 - 75	65 - 72	65	15 - 45	25 - 48	40 - 61	64.5
Notched Izod ft-lb/in	7	7	11	5	5	8	11	5.7	6
Tensile Strength (psi)	2500	4100	2800 - 3900	3200 - 3500	3140 - 4970	3800 - 4300	1300 - 3500	3000 - 4600	6800
Elongation at Break (%)	200	50 - 140	95 - 250	75 - 135	125	6 - 10	12	13	N/A
CLTE X 10E ⁻⁶	76	110	110	110	85	44	50	66.9	48.8
Hardness (Shore D)	44	63 - 73	58 - 64	65	69	72	50 - 75	50 - 75	87
% Reinforcement	0 - 20	0 - 20	0 - 25	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0

ANEXO H: Guidelines da Bayer

Quick Design Reference Guide for RIM

Parameters	Elastomers	Rigid Rim			Composites	
	Solid Bayflex System (Unfilled)	Foamed Baydur System	Solid Baydur GS System	Solid PRISM System (Thin Walled)	Foamed Baydur STR/F System	Solid Baydur STR/C System

Part Design

(t)Wall Thickness (in)	0.2 – 1.0	0.2 – 1.5	0.25 – 4.0	0.125 – 0.5	0.125 – 0.25	0.09 – 0.15
Rib Thickness at Root ^a	0.75t	t	t	0.75t	Use box beam or corrugation	Use box beam or corrugation
Draft (degrees) This is function of Part Draw or Depth	0.5 min +0.25/inch greater than one inch of draw	0.5 min +0.25/inch greater than one inch of draw	0.5 min +0.25/inch greater than one inch of draw	0.5 min +0.25/inch greater than one inch of draw	1.0 min	1.0 min
Molded Holes/Slots	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Undercuts	Slight undercuts	Use side pull or removable insert	Use side pull or removable insert	Use side pull or removable insert	No	No
Snap Fits	Possible	Possible	Possible	Possible	No	No
Fillets (Inner Radius)(in)	1/16	1/8	1/8	1/16	1/4	1/4

Finishing

Best Surface	Class A	Class A	N/A	Class A	No Class A, use texture	Class A with veil
Screw Assembly	Use bolt and nut ^b	Thread cuts skin	Thread cutting	Thread cutting	Thread cutting	Thread cutting

Mold Design and Processing Parameters

Material of Construction	Metal preferred (depending on prod. volume)	Metal preferred (depending on prod. volume)	Metal preferred (depending on prod. volume)	Metal preferred (depending on prod. volume)	Steel	Steel
Preferred Gating	Fan	Dam	Dam	Dam	Center/Direct	Center/Direct
Shot Time, Max. (sec)	2 (9 ^c)	9	15	5	5	15
Mold Pressure (psi)	100	100	100	100	200	200
Mold Temperature (°F)	140 – 160	140 – 160	140 – 160	140 – 160	130 – 140	175 – 185

Physical Properties

Flexural Modulus (psi)	5,000 – 100,000	53,000 – 240,000	130,000 – 190,000	270,000 – 310,000	150,000 – 750,000	Up to 2,000,000
Part Density (lb/in ³)	60 – 65	15 – 55	63 – 68	61 – 67	20 – 40	90 – 110
Flexural Strength (psi)	N/A	3,000 – 12,000	5,300 – 7,700	9,300 – 10,300	3,500 – 17,000	50,000
Tensile Strength (psi)	1,900 – 4,000	1,000 – 4,800	3,600 – 5,300	5,500 – 6,600	2,500 – 9,000	26,000
Elongation at Break (%)	100 – 360	6 – 10	16 – 29	11 – 12	2.5	2.5
DTUL at 66 psi (°F)	N/A	160 – 212	140 – 215	190 – 205	205	400
Hardness (Shore D)	30 – 69	40 – 81	70 – 75	73 – 75	60 – 70	60 – 70
% Reinforcement	0 – 25	N/A	N/A	N/A	20(mat)	55(mat)

^aRoot includes both radii. ^bCan also screw through to metal substrate.

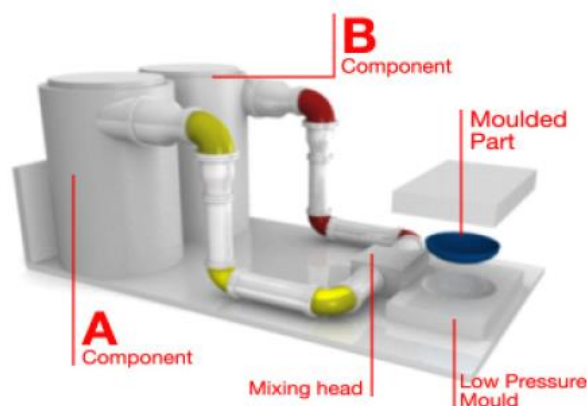
^cLonger shot times are possible with a Bayflex XGT system, which has an extended gel time.

ANEXO I: Guidelines da Telene SAS

- Informações sobre o processo (Telene SAS)

As resinas (componentes A e B) estão em bidões de aço de 200 l cobertos de azoto.

Cada componente contém um sistema de catalisador que é muito sensível à água e ao oxigénio. As linhas de alimentação destinadas a serem preenchidas com a resina devem estar limpas e totalmente purgadas com azoto gasoso.



Esquema do processo RIM, acondicionamento dos componentes, linhas de alimentação, cabeça de mistura e injeção e respetivo molde (Telene SAS).

Recomenda-se que a temperatura de armazenamento dos componentes seja entre 5° e 50° C. A solução do catalisador ocorre abaixo de 5 °C no componente B. Este deve ser agitado durante uma hora, antes de encher o reservatório do equipamento.

A fim de atender aos níveis indicados na Ficha de Segurança, é absolutamente necessário que haja ventilação.

O *Threshold limit value - Time weighted average* (TLV-TWA) é o valor limite de segurança, que corresponde ao valor máximo de concentração de uma substância química a que o ser humano pode ser exposto, sem que apareçam efeitos irreversíveis, (Wikipedia), que no caso do DCPD é de 5 ppm (partes por milhão), (0,5 ppm na Alemanha).

Em relação às tecnologias de processamento, as Resinas Telene são processadas usando equipamentos RIM convencional, com algumas modificações.

Relativamente aos moldes, podem ser usados diferentes tipos de materiais, dependendo do número de peças a produzir, dimensões críticas, forma da peça, tolerâncias, textura da superfície e a vida do molde.

As construções mais recomendadas são moldes de alumínio maquinado e níquel galvanizado, para minimizar o custo e oferecer alternativas para as grandes peças e superfícies com elevados requisitos.

É necessário controlar a temperatura dos moldes, uma vez que a cura da resina é altamente exotérmica, o aquecimento e linhas de refrigeração devem ser projetadas de forma a manterem a superfície do molde a $\pm 2^{\circ}\text{C}$, em relação à temperatura de ajuste em toda a superfície dos moldes.

A temperatura típica do molde será entre os 75 ° C a 80 ° C na face visível, cavidade (*showface*) e os 60 ° C a 65 ° C no macho (*core*).

Toda a cavidade do molde deve ser vedada com uma junta de borracha, para assegurar a pressão de retorno no final da injeção.

Devido ao elevado nível de conversão e propriedades mecânicas atingidas ainda dentro do molde, a peça não poderá ser extraída da mesma forma que uma peça em PU. Assim, o projeto do molde deve evitar rebaixos.

A superfície interior do molde deve ser limpo no fim de cada injeção, com um solvente orgânico para remover todo o monómero residual e água desionizada para remover qualquer resíduo de catalisador.

Antes do armazenamento de um molde, recomenda-se a aplicação de uma camada de proteção de graxa fina.

Uma prensa hidráulica com mesa basculante pode ser utilizada para garantir um bom enchimento do molde, facilitando a libertação do ar.

As peças quando removidas do molde estão a 80 - 90 °C. Apesar da elevada taxa de conversão as peças enquanto estão quentes têm um odor característico, por este motivo devem ser armazenadas numa área bem ventilada.

A rebarba da peça é dura e rígida, a menos que seja particularmente fina. A remoção manual é fácil com as ferramentas adaptadas.

As peças podem ser lixadas, serradas, furadas e levar inserções. O poliéster, acrílico ou epóxi são utilizados para reparar áreas com pequenos defeitos.

Estas operações devem ser executadas num espaço ventilado para evitar explosão ou incêndio.

A maior parte dos equipamentos RIM disponíveis no mercado podem ser usados para processar a resina Telene, desde de que alguns componentes estejam contemplados:

- Linha de azoto com controlo de pressão (*Nitrogen blanket line*). O azoto tem que ter um grau de pureza superior a 99,998%, oxigénio <10 ppm, a água <5 ppm.

- Controlo da temperatura através de trocadores de calor em série na linha de retorno de baixa pressão e/ou recirculação de água.

- Válvulas de três posições para permitir a limpeza de todo o equipamento.

- São recomendados transdutores de fluxo, tal como as válvulas automáticas nas linhas de retorno que também podem ser usadas com controlo de tempo.

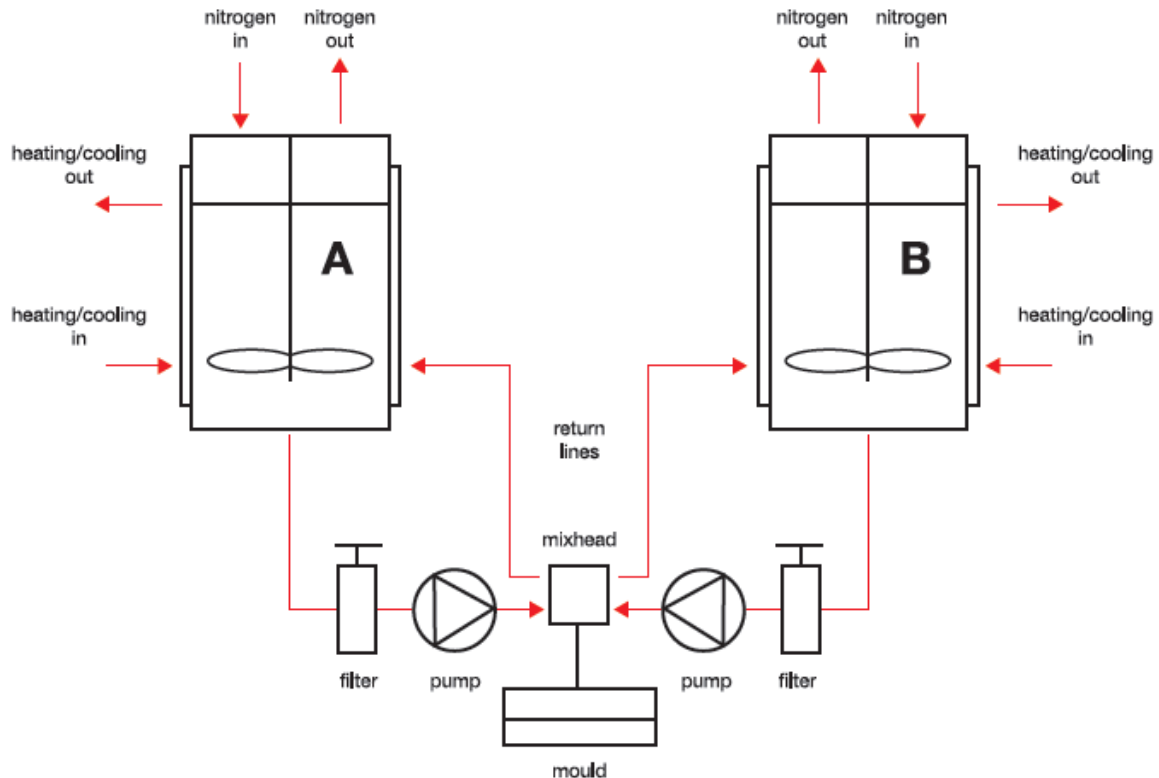
- Agitador a uma velocidade muito baixa, recomendado no lado B.

- Filtros de autolimpeza devem estar instalados nas linhas de baixa pressão por forma a minimizar a queda de pressão.

A operação ocorre entre os 20 °C a 40 °C, uma vez que a temperatura altera a reatividade do Telene é necessário um controlo permanente para garantir um correto enchimento do molde.

A Telene é processada nas proporções de 1 para 1 de A e B.

Segue-se um esquema da unidade de injeção:



Componentes e esquema da Unidade de Injeção (Telene SAS).

- Projeto do Molde:

Controlo de temperatura

Durante o processo de injeção é importante controlar a temperatura do molde. Este deve ter circulação de água, por forma a garantir uma temperatura uniforme, já que a reação do DCPD é extremamente exotérmica. Para tal, o projeto deve assegurar que o molde varia $\pm 2^\circ\text{C}$ em redor das cavidades. Tipicamente a cavidade do molde encontra-se a uma temperatura superior relativamente à bucha, entre os $75\text{-}80^\circ\text{C}$ que corresponde à face visível da peça. Neste lado é exigido melhor acabamento superficial, já que é o lado visível da peça. Normalmente a peça fica deste lado aquando da abertura do molde. No caso da bucha, esta metade do molde encontra-se entre os $60\text{-}65^\circ\text{C}$ (Teixeira e Ribeiro 2010).

Canal de Injeção

No projeto do molde encontra-se ainda o sistema de injeção, gito e ponto de injeção (*gate* e *runner*), no caso do DCPD o ponto de injeção tem a forma de leque, e deve ser posicionada de forma a facilitar o fluxo e enchimento do molde (Teixeira e Ribeiro 2010).

Rebarba, vedação e ventilação

No projeto do molde está previsto uma área envolvente da peça, rebarba (*flash*), que está circunscrita por um canal de vedação (*gasket*) que posteriormente leva uma borracha de

isolamento, ambos maquinados na bucha. Esta vedação, garante a pressão interna no molde e minimiza a saída de material. A rebarba é utilizada para capturar bolhas de ar e serve como ventilação do molde. A rebarba tem a espessura entre 0.2 e 0.5 mm e um comprimento de 15 mm, que no fim contacta com a vedação. São ainda utilizados pequenos reservatórios, maquinados nos moldes, em zonas onde há uma maior ventilação e o escape de ar é necessário, Também ajudam a assegurar o correto enchimento da peça (Teixeira e Ribeiro 2010; Vervacke 2008).

- Materiais dos moldes:

Madeira

A madeira, ou o MDF (*Medium-Density Fiberboard*) derivado da madeira, pode ser usada em moldes para pequenas séries, até dez unidades, de peças protótipos simples. Estes são de produção rápida e de baixo custo, mas têm fraca qualidade superficial, pouca precisão dimensional, fraca resistência à contração dos materiais injetados e falta de condutividade térmica (Telene SAS).



Molde em MDF produzido no CEiiA.

Epóxi

O epóxi pode ser usado para criação de protótipos para séries entre as 10 e 500 peças com baixos requisitos superficiais.

Comparativamente com a madeira, o epóxi permite formas mais complexas, e tem uma vida útil maior. Em relação ao metal o fabrico é mais rápido e de mais baixo custo, no entanto devido à baixa condutividade térmica exige tempos de ciclo mais longos.

No pós-cura, a altas temperaturas, podem aparecer distorções no molde e é difícil fazer correções neste tipo de moldes (Telene SAS).

Alumínio

Existe o alumínio fundido e o maquinado. O fundido é mais económico, mas apresenta maiores defeitos que levam a problemas na superfície das peças, como espaços vazios e porosidade. As tolerâncias também não são as melhores devido à contração do fundido.

De uma forma geral o alumínio tem um melhor controlo da temperatura e tem maior condutividade térmica. Em relação ao aço ainda tem a vantagem de ser mais leve.

O custo das ferramentas é inferior relativamente ao aço e pode ser inferior à niquelagem – deposição superficial de níquel (*nickel shell tooling*).

A boa qualidade obtida no alumínio maquinado e à vida útil do molde faz com que estes sejam adequados para séries de 50 000 peças.

As séries 2000, com elevado teor de cobre, podem ter alguma corrosão. Assim sendo estão recomendadas as ligas 5083, 6061, 6082 e 7075 (Telene SAS).

Nickel shell

Os moldes de níquel são muitas vezes uma alternativa de baixo custo. Uma camada metálica de níquel é depositada no modelo por eletrodeposição oferecendo uma boa qualidade superficial.

A temperatura do molde é geralmente obtida por tubos de cobre embutido na matriz de suporte da ferramenta. O controlo de temperatura é melhor do que no caso dos moldes em epóxi, mas não é tão boa como em ferramentas totalmente metálicas.

São possíveis rebaixos, mas não são recomendados. A incapacidade de fazer facilmente alterações ou reparações é uma grande desvantagem. Esta tecnologia é mais barata do que ferramentas de aço e alumínio (Telene SAS).

Cast kirksite

Kirksite é o nome comercial para a liga zinco-alumínio usada frequentemente para a produção de ferramentas e moldes. *Kirksite* é uma liga de zinco (92 - 94%) e de alumínio (3,5-4,5%), que é menos dispendioso que o alumínio. A porosidade é um problema, não sendo recomendáveis para moldes cujas peças necessitam de elevada qualidade superficial.

Kirksite pode ser utilizado como um material do núcleo, para reduzir o custo do molde, podendo ser usada a casca de níquel no seu exterior, para melhor acabamento superficial. O controlo de temperatura é realizado através de tubos de aço ou cobre.

As peças soltas são possíveis, mas podem ser inviáveis, tornando o molde demasiado caro (Telene SAS).

Aço

Moldes de aço maquinado são uma alternativa de custo inicial mais elevado do que o alumínio, devido a elevada dureza do material. Tem uma condutividade térmica mais baixa que o alumínio e é mais pesado.

Essas desvantagens são compensadas pela durabilidade do molde e acabamento superficial durante longos ciclos de produção.

É vantajoso para peças complexas, com necessidade de incorporar machos, movimentos e grandes volumes de produção (Telene SAS).

- *Design das gates*

Technical information 3/8

Pressure Drop evaluation

The following rules are based on the assumption that the flow is laminar through the gate system.

Pressure drop in a circular cross section pipe:

$$\Delta P = \frac{8 Q \eta L}{\pi R^4}$$

where:

ΔP = Pressure drop through the pipe

R = Pipe radius

L = Pipe Length

η = Viscosity

Q = Volumetric flow rate

If the pipe does not have a circular cross section, R can be substituted by the hydraulic radius :

$$R_{hyd} = (2 \times \text{Cross-sectional area}) / \text{wetted perimeter}$$

Pressure drop between flat plates:

$$\Delta P = \frac{12 Q \eta L_o}{L h^3}$$

where :

ΔP = Pressure drop through the film

h = Film thickness

L_o = Gate Length



Innovative chemistry for designers

Technical information 4/8

Coat-hanger gate design sheet

(example)

Design Rules

Reynolds number in the gate: < 10

Velocity in the gate: < 4 m/s for thin part

< 2 m/s for thick part

Gate to Distributor channel pressure drop ratio >1.5

Injection parameters

Injected weight (kg)	Part thickness (mm)	Injection rate (g/s)	Injection time (s)
10	5	500	20

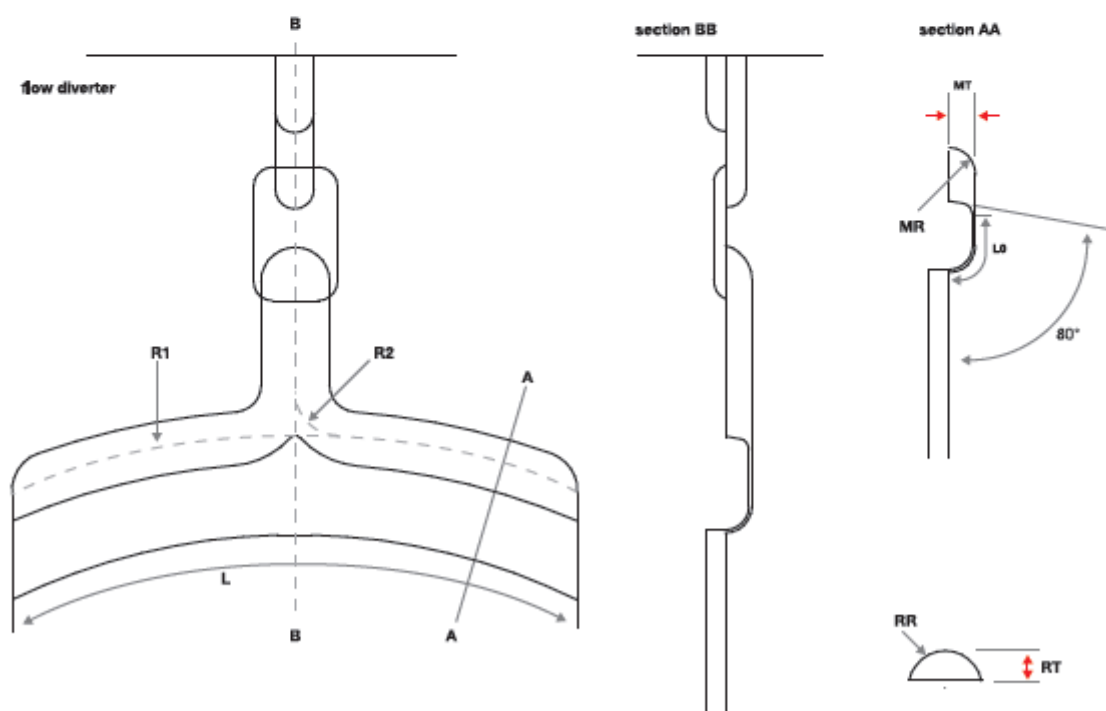
Gate dimensions

Thickness (mm)	Gate width L (mm)	Gate length Lo (mm)
1	150	>5 15

Gate cross section (mm ²)	Gate velocity (m/s)	Re number in the gate	Gate pressure drop (Bar)
150	3,3	9,24	2,1

Manifold and Runner dimensions

Manifold Radius / MR (mm)	Runner Radius / RR (mm)	Depth / Y (mm)	Curv. Rad. 1 / R1 (mm)	Curv. Rad. 2 / R2 (mm)
7,5	11	21	142	15
Manifold Thickness / MT (mm)	Runner Thickness / RT (mm)	Equiv Hydraul. Radius (mm)		Half channel length
6	8	3,7		68
Manifold cross section (mm ²)	Channel press. drop (Bar)	Gate to channel press. drop ratio		
66	0,9	2,47		

Coat-hanger gate design drawing




Innovative chemistry for designers

Technical information 5/8

Rod gate design sheet

(example)

Design Rules

Reynolds number in the gate: < 10

Velocity in the gate: < 4 m/s for thin part

< 2 m/s for thick part

Gate to Distributor channel pressure drop ratio >1.5

Injection parameters

Injected weight (kg)	Part thickness (mm)	Injection rate (g/s)	Injection time (s)
10	5	600	17

Gate dimensions

Thickness (mm)	Gate width L (mm)	Gate length Lo (mm)
0,8	300	>4 30

Gate cross section (mm ²)	Gate velocity (m/s)	Re number in the gate	Gate pressure drop (Bar)
240	2,5	5,54	4,9

Distributor and channel dimensions

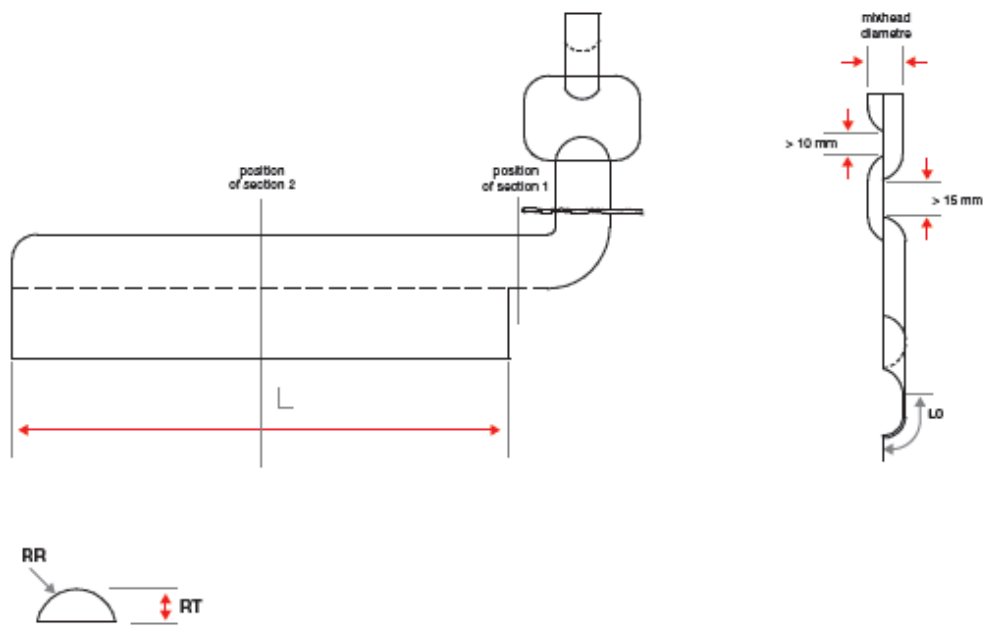
Manifold Radius / MR (mm)	Manifold Thickness / MR (mm)	Equivalent hydraulic radius (mm)
12	9	5,4

Channel cross section (mm ²)	Channel Press. Drop (Bar)	Gate to channel drop ratio (>2)
154	2,0	2,51



Innovative chemistry for designers

Rod gate design drawing



Telene

Innovative chemistry for designers

Technical information 7/8

Gate design

Samples of rod gates



Samples of coat hanger gates



ANEXO J: Ficha técnica Ebaboard W

Technical
Datasheet

ebaboard W



Basis tool- and mouldmaking board

Colour grey

Applications

- Sheet metal forming
- Jigs
- Hammer form tools

Properties

- high strength
- wear resistant
- fine structure
- low coefficient of linear expansion
- well workable

Processing data

Product	ebaboard W		
Colour	grey		
Density at 20°C	g / cm ³	1,76 ± 0,03	

Physical data

Properties	Inspect. requirem.	Unit	Value
Flexural strength	EN ISO 178	MPa	100 ± 10
Flexural modulus	EN ISO 178	MPa	7800 ± 500
Flexural strength at breakage	EN ISO 178	%	1,2 ± 0,2
Tensile strength	EN ISO 527	MPa	-
Compressive strength	EN ISO 604	MPa	110 ± 10
Impact resistance (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	8 ± 2
Heat resistance (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	76 ± 2
Shore hardness	DIN 53505	Shore D	90 ± 3
Coefficient of linear expansion	DIN 53752	10 ⁻⁶ K ⁻¹	ca. 50

Sales units (packages)

ebaboard W	1000 x 500 x 50 mm
	1000 x 500 x 75 mm
	1000 x 500 x 100 mm

Technical
Datasheet

ebaboard W



Processing instructions

Advices for machining of board material

- Making even of milling support
- Roughing of geometry
- Removing of clamps, if possible over night
- Clamping
- Finishing

The gluing of the board material is made with our „adhesive for board material“.
The glued parts are easily fixed by clamps or by weight.

Milling parameter are available.

In General

ebaboard material is available in specified sizes. The surface is machined on all sides. **ebaboard** is a synthetic, post-cured board material on polyurethane base. It has an even structure and plane parallel machined surfaces.

Advantages:

- Dense structure
- Good edge strength
- Low tension
- Good workability
- Low dust development when milling

Dimensional tolerance of 1-2 % is possible.

"VP"-products are experimental products.
Regarding technical data slight modifications are possible.

Safety measure

ebaboard material is a cured filled polyaddition product, no hazardous dusts when grinding.
Anyway the quantity of dusts coming from mechanical treatment of wood and metal 6 mg/m³
(MAC-value)- must not be exceeded.
According to regulations for hazardous goods **ebaboard** products don't have to be marked during transport and storage.

According to regulations for hazardous products all **ebaboard** products are not to be marked for transport and storage. Please follow safety advices !

Waste Disposal












Small quantities can be disposed as domestic waste. For big quantities, contact your local authorities, please.
In case of further questions please do not hesitate to contact our department for product safety.

ANEXO K: Propriedades do Alumínio 5083

COMPOSIÇÃO QUÍMICA LIGAS STANDARD

	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Pb	% Cr	%	% Outros	% Al
5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.00	4.00-4.90	0.25	+Zr 0.20	-	0.05-0.25	-	0.15	"



EQUIVALÊNCIAS INTERNACIONAIS

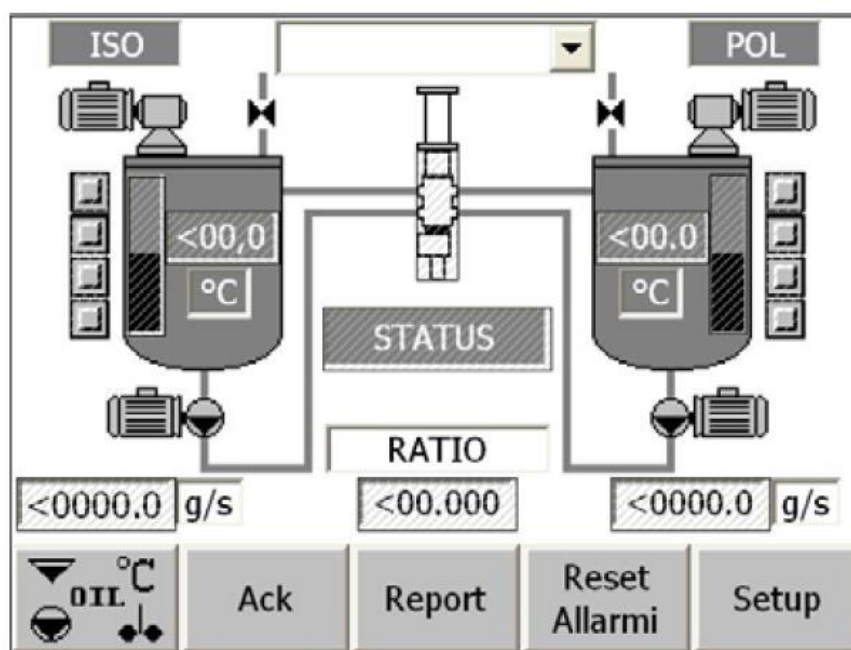
											
LANEMA	E.U. NORMAS E.N.	ESPAÑA NORMAS U.N.E.	FRANÇA AFNOR	ALEMANHA D.I.M. (1712-1725)	G.B. B.S.	SUÉCIA S.I.S.	SUÍÇA C.S.A.	CANADA C.S.A.	ITÁLIA U.N.I.	C.E.I. GOST	ÁUSTRIA ONORM
Alumínio com Magnésio											
5005	AW 5005	L-3350 38.335	A-G0,6	AlMg1 3.3315	N 41	4106	AlMg1 (B 57 S)	5764	9005/1	1510	-
5050	AW 5050	L-3380 38.338	A-G1	AlMg1.5 3.3316	3 L 44	-	(AlMg1.5) (A 57 S)	3573	9005/7	-	-
5052	AW 5052	L-3360 38.336	A-G2,5C	AlMg2.5 3.3523	L 80 / L81	4120	AlMg2.5 GR 20 (57 S)	3574	9005/2	1520	AlMg2.5
5056 A	AW 5056 A	L-3320 38.332	A-G5M	AlMg5 3.3555	N 6 / 2L58	4146	AlMg5 GM 50 R (56 S)	3576	-	1550	AlMg5
5083	AW 5083	L-3321 38.340	A-G4,5M	AlMg4.5Mn 3.3547	N 8	4140	AlMg4.5Mn GM 41 (D 54 S)	7790	9005/5	1540	AlMg4.5Mn
5086	AW 5086	L-3322 38.341	A-G4MC	AlMg4Mn2 3.3545	-	-	AlMg4Mn G 40	5452	9005/4	-	-

PROPRIEDADES TÍPICAS DAS LIGAS STANDARD

	LIGAS	ESTADO	CARGA DE ROTURA Rm - N / mm²	LIMITE ELÁSTICO Rp 0.2 - N / mm²	ALARGAMENTO A 5.65 %	LIMITE DE FADIGA N / mm²	DUREZA BRINELL HB	DUREZA VICKERS HV	MÓDULO ELÁSTICO N / mm²	PESO ESPECÍFICO g / cm³	INTERVALO DE FUSÃO °C	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR 1 / 100K	CALOR ESPECÍFICO J / Kg K	RESISTIVIDADE ELECTRICA 20 - µΩ . cm	CONDUTIVIDADE ELECTRICA % IACS
SÉRIE 5xxx	5083	O/H111	300	145	23	250	70	75	71.000	2,66	580-640	23,8	899	60,0	28,5
	5083	H2	330	240	17	280	90	95	71.000	2,66	580-640	23,8	899	60,0	28,5
	5083	H4	360	275	16	280	100	105	71.000	2,66	580-640	23,8	899	60,0	28,5
	5083	H6	380	305	10	-	105	110	71.000	2,66	580-640	23,8	899	60,0	28,5
	5083	H8	400	335	9	-	110	115	71.000	2,66	580-640	23,8	899	60,0	28,5
	5083	H9	420	370	5	-	115	120	71.000	2,66	580-640	23,8	899	-	-

ANEXO L: Equipamento RIM – ECOMASTER 2 100/50 da OMS Group

4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
									
Descrizione impianto Plant designation						ECOMASTER 100/50		Comessa Work order 12695	Ordine Order 12397
Tensione nominale Rated voltage 400V		Corrente a pieno carico Full load current 81 A							
N° Fasi Phases N° 3		Corrente del carico maggiore Largest load current 22 A							
Frequenza nominale Rated frequency 50 HZ		Corrente nominale Rated current 100 A							
Tensione di comando Control voltage 110VAC - 24VDC		Potere nom. d'isolam. Icu Rated breaking capacity Icu 0,680 KA							
Grado di protezione Degree of protection IP44		Potenza nominale Rated power 39 KW							
Cliente Customer VICODI									
Inizio progetto Beginning project 08. Set 2008		Numero disegno Drawing number A02386							
Responsabile progetto Project manager		Progettista Designer Simone Mazzola							
		ECOMASTER 100/50 INTERFACING HEADER		PIANT SITE ASSEMBLY + Q01	Totale Sheets 42	Stampato Printed 08. Set 2008	Code: A02386	REVISION R° 00	DATE 08/09/2008



OUTPUTS								
	RATIO 1:1				2:1 or 1:2		Power Consumption	Nett Weight
	gr/sec (low speed)		gr/sec (high speed)		gr/sec			
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	Kw	Kg
ECOMASTER 2 100/50	150	750	300	1500	225	1100	32	1720

ANEXO M: Características da Prensa Hidráulica da FindAut**PRENSA HIDRÁULICA**

- Tipo de construção: 4 Colunas em perfilados de aço muito robustos.
Aperto vertical de cima para baixo.

- **Características Técnicas:**

- Força 150 Ton.
- Abertura luz 1500 mm.
- Curso 1450 mm.
- Dimensão útil da mesa 2500 x 2000 mm.
- 4 Cilindros pressores de simples efeito Ø 125
- 2 Cilindros para movimento de Ø 125 x Ø 80 mm.
- Velocidades:
 - Velocidade de aproximação 70 mm/Seg.
 - 2ª Velocidade 9,5 mm/Seg.
 - Velocidade de fecho 0,9 mm/Seg.
 - Velocidade de abertura lenta 4,5 mm/Seg.
 - Velocidade de abertura rápida 48 mm/Seg.
- Pressão final regulável por pressostato.
- Pressão máxima 210 Bar.
- Unidade hidráulica 300 Lts.
- Motor eléctrico 5,5 KW./1000 R.P.M.
- Quadro eléctrico
- Comando bimanual.
- Segurança de emergência por cabo envolvente.
- Tempo de fecho temporizado.
- Peso aproximado 10.000 Kgs.
- Dimensões:
 - Frente 3200 mm.
 - Largura 2100 mm.
 - Altura 4500 mm.

Em planta a área necessária: 3500 x 2600 mm.

ANEXO N: Ficha técnica do COMET L3D

COMET L3D - 2M			
Resolução de Câmera		1600 x 1200	
Campo de Medição	Volume de medição em mm ³	Distância entre pontos em µm	Distância de medição em mm
45mm	45x38x30	18	760
75mm	74x62x40	30	760
100mm	120x100x60	50	760
250mm	260x215x140	100	760
500mm	480x400x250	190	760
800mm	750x630x500	300	1185
Tempo de medição mais rápido em segundos		1,5	
PC		Com desktop-PC ou notebook disponível	
Posicionamento do sensor		Tripé ou coluna para sensor Com eixo manual giratório/oscilante	
Posicionamento automático de objetos		Mesa rotativa (COMETrotary, COMETdual rotary)	

ANEXO O: Ficha técnica do T-SCAN 3

▼ T-SCAN 3 Sensor	
Profundidade de medição	75 mm
Largura de digitalização	90 mm
Distância média de digitalização	83 mm
Frequência de digitalização	10 - 140 Hz
Taxa de amostragem da distância de medição	20 kHz
Resolução da distância de medição	1 µm
Densidade de pontos na direção de digitalização	0.07- 0.98 mm
Peso do sensor	1200 g
Dimensões do sensor	172 x 138 x 80 mm
Comprimento do cabo do scanner PC - padrão	9 m
Resolução lateral	0.1 mm
Tipo de laser	Diode
Comprimento de onda	670 nm
Classe do laser	2
▼ T-SCAN 3 - Sistema de rastreamento	
Área de medição	1.5 - 6 m
Dimensões (mm)	1126 x 200 x 161
Peso	aprox. 19 kg
Compensação de temperatura	Sim
Visualização do volume de medição com ponteira laser	Sim
Calibração no campo	Sim
Ponteira de contacto	Sim
Extensão para máquina de medição por coordenadas (PCMM)	Sim
Operação com duas câmaras	Não
Referenciamento dinâmico (novo posicionamento da câmara)	Sim
Rack móvel e funcionamento notebook	Sim

ANEXO P: Detalhe do Q-Bond Ultra Strong Adhesive & Filling Powders

PRODUCT DETAILS

Part Number:

QB2

Description:

SMALL ADHESIVE REPAIR KIT

Bar Code:

6001651023565

Brand:

Q-BOND

Product Specifications:

QB2

Small Repair Kit

Contains

2 x 10ml Super Glue

1 x Grey Powder

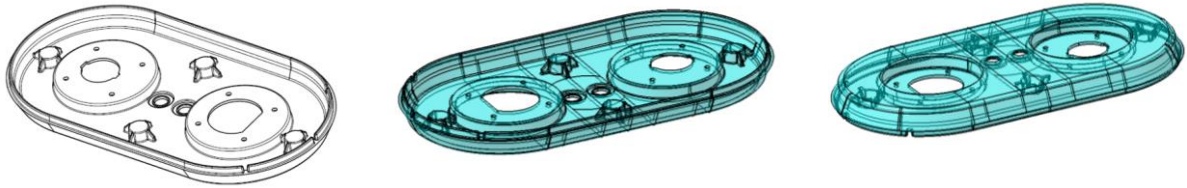
1 x Black Powder

For repairing various types of breaks, cracks and other types of damage. Using the two part system with unique reinforcing and filling capabilities cracks, holes and gaps can be repaired to regain their original shape.

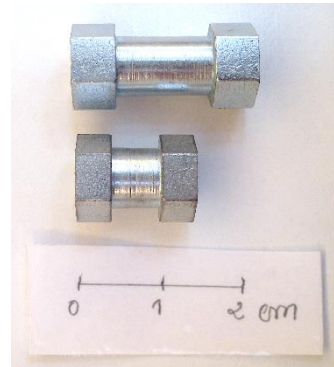
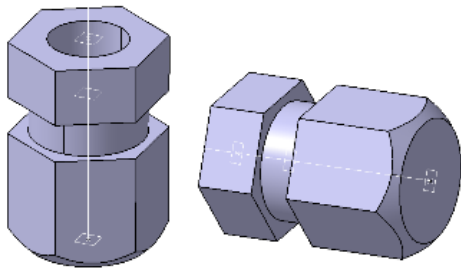


ANEXO Q: Magnum Cap Frente

A frente do poste elétrico, cujas vistas e dimensões se seguem, é uma peça que pesa cerca de 0,466 Kg (valor obtido pelo CATIA e a respetiva densidade, sem fator de contração).

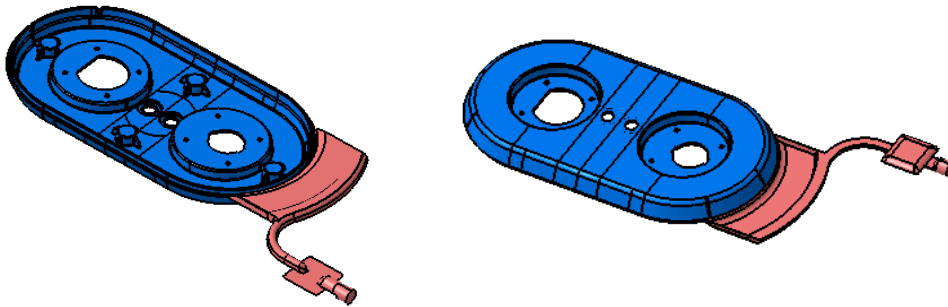


Esta peça tem a inserção de 4 insertos metálicos durante o processo de injeção, nas bolsas de material existentes no núcleo da peça.

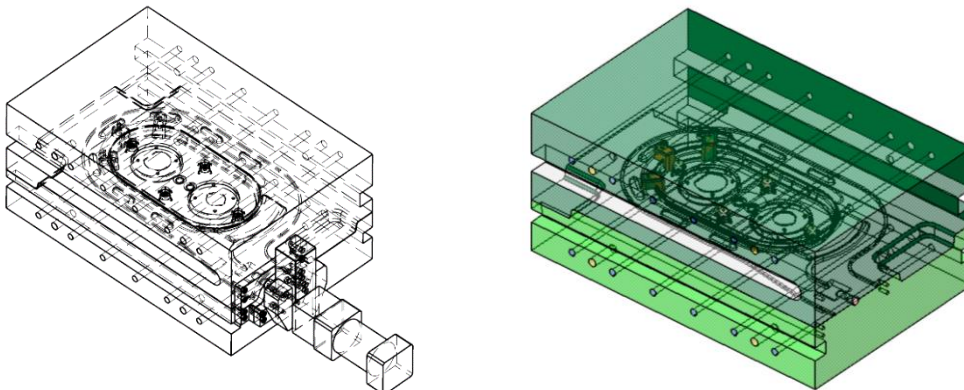


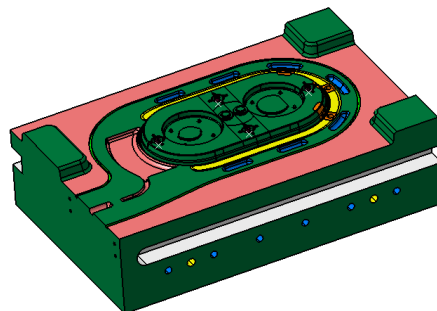
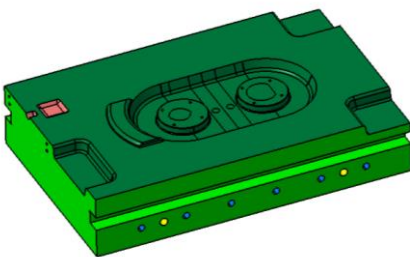
Insertos metálicos usados nas peças:

Na peça frente do poste de carregamento, a gate tem a seguinte forma:



O molde tem as seguintes dimensões: 700 x 450 x 313.7 mm.

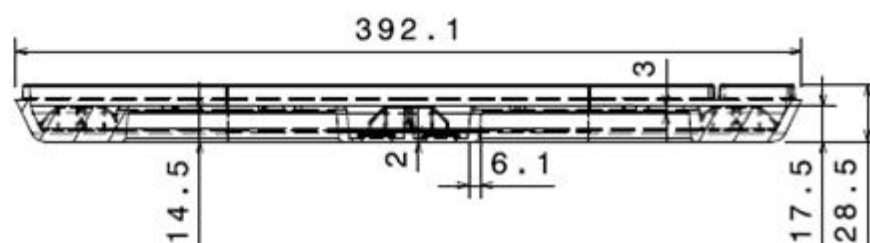
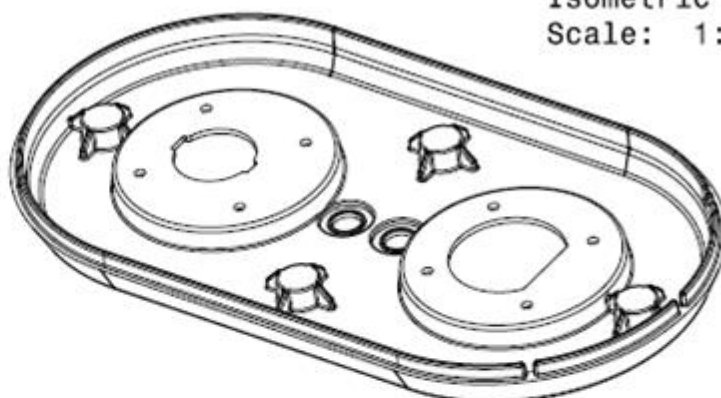




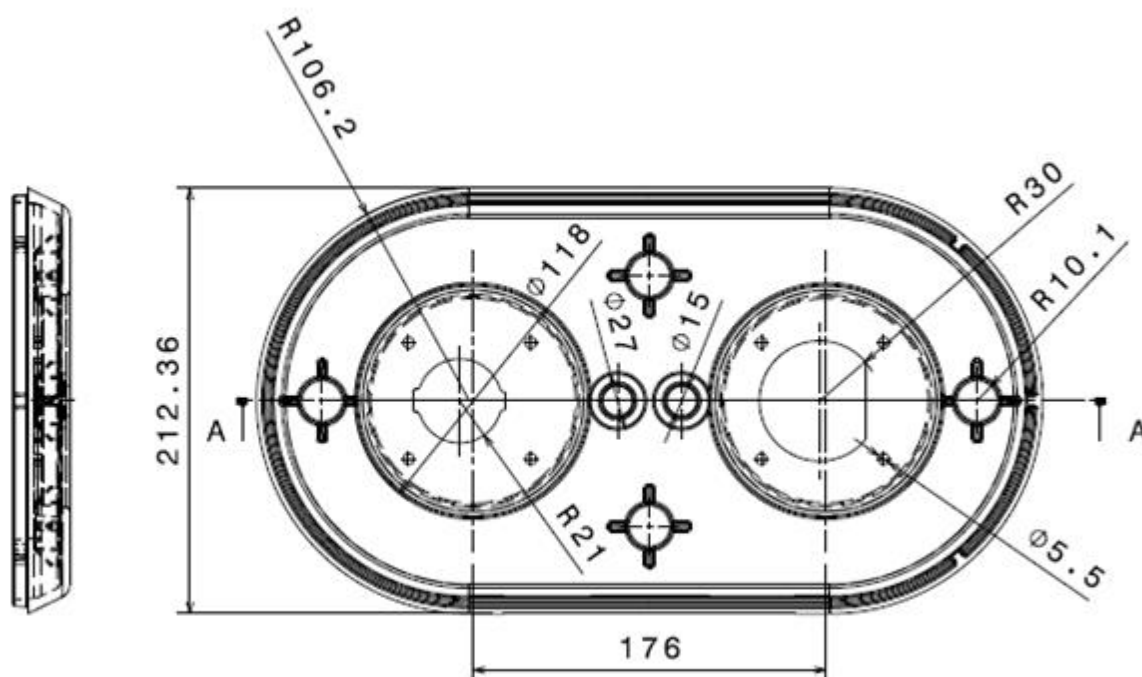
Vistas da peça:

Material: DCPD	Contração: 1,01	⚡
Densidade: 1030 kg/m³	Molde: Magnum Cap	
Massa: 0.466 Kg	Peça Frente	A4

Isometric view
Scale: 1:3



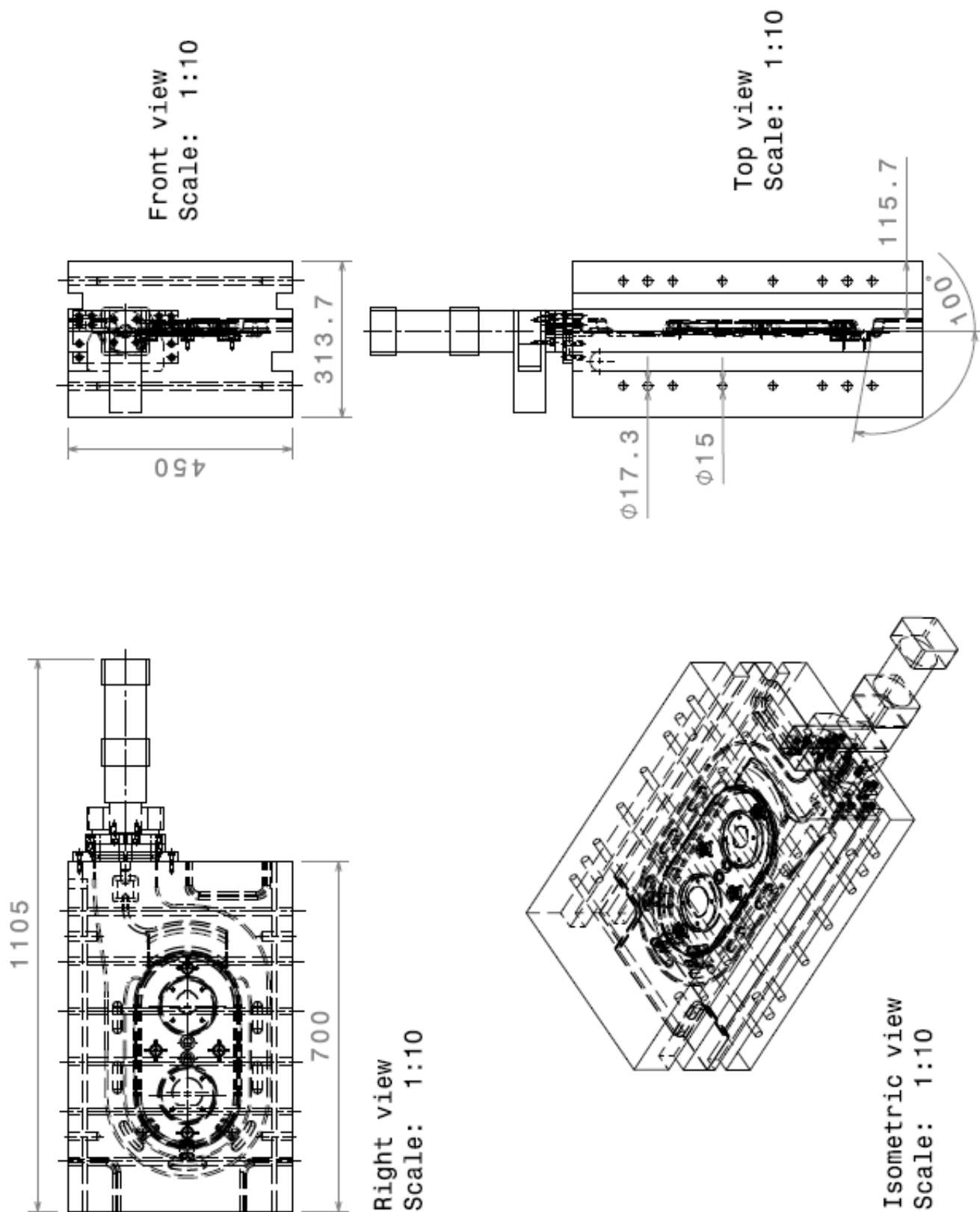
Section view A-A
Scale: 1:3



Front view
Scale: 1:3

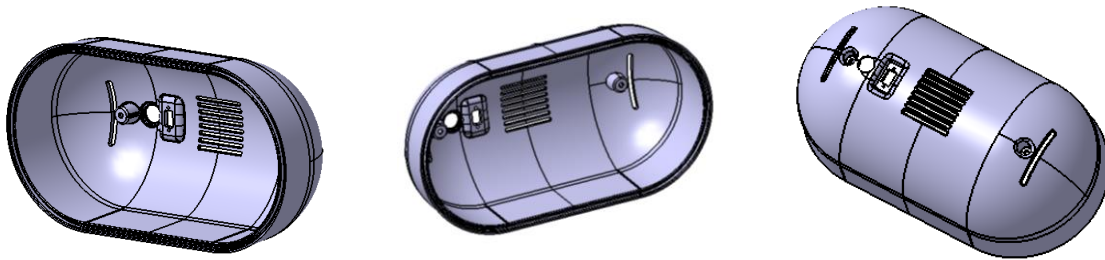
Left view
Scale: 1:3

Vistas do molde:

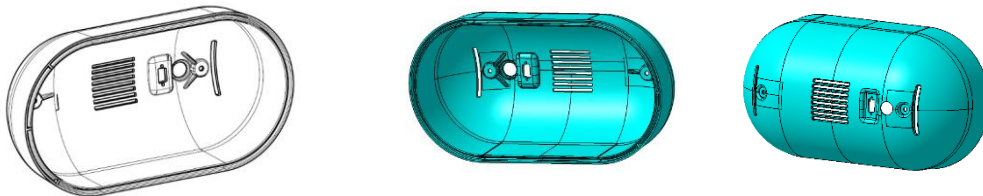


ANEXO R: Magnum Cap Traseira

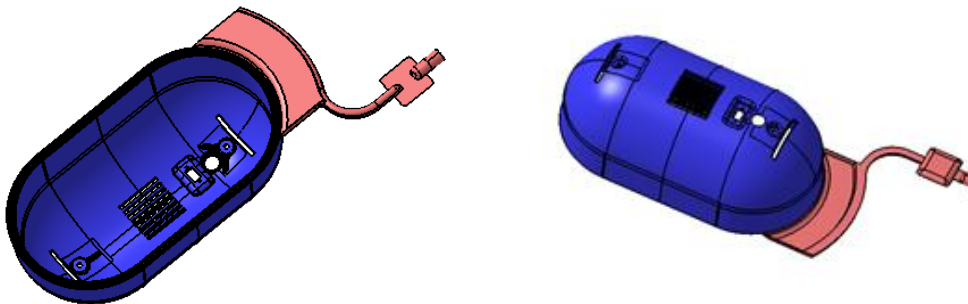
A traseira do poste elétrico, foi uma peça que sofreu alterações. Inicialmente a peça pesava 1,043:



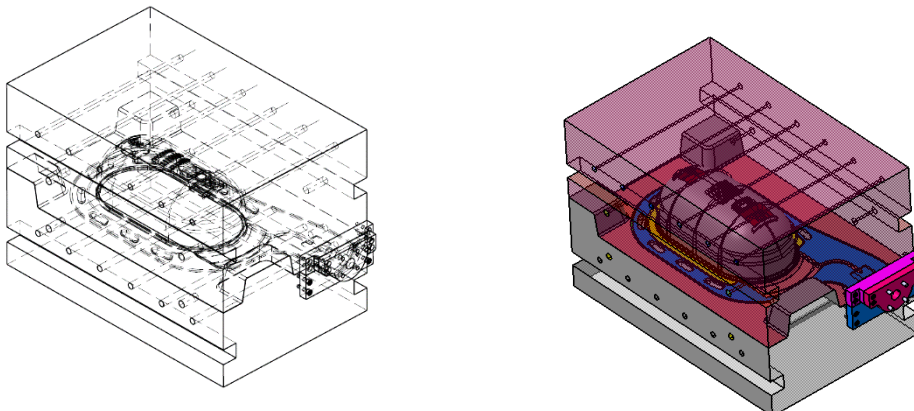
Depois das alterações passou a pesar cerca de 1,038 Kg.

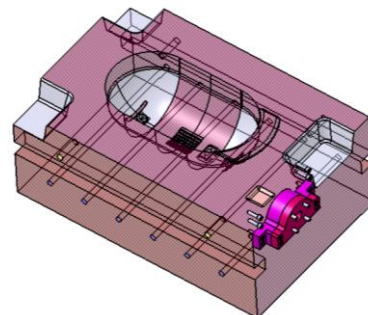
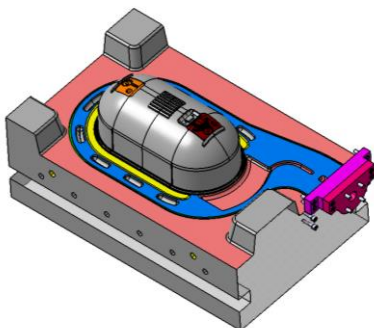


Na peça traseira do poste de carregamento, o sistema de injeção é feito de forma semelhante à anterior:

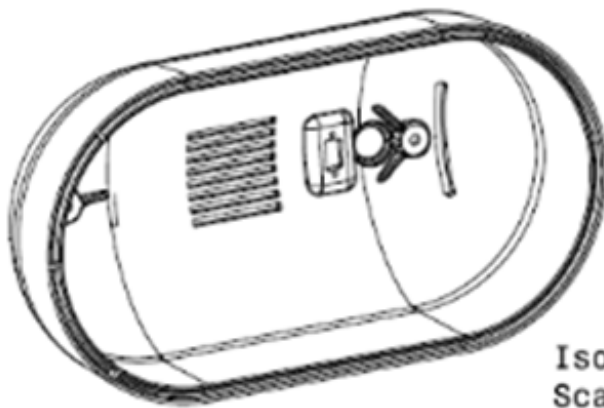


O molde desta peça tem as seguintes dimensões: 700 x 450 x 487.8 mm.

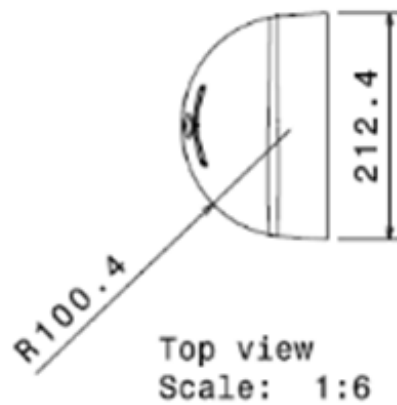
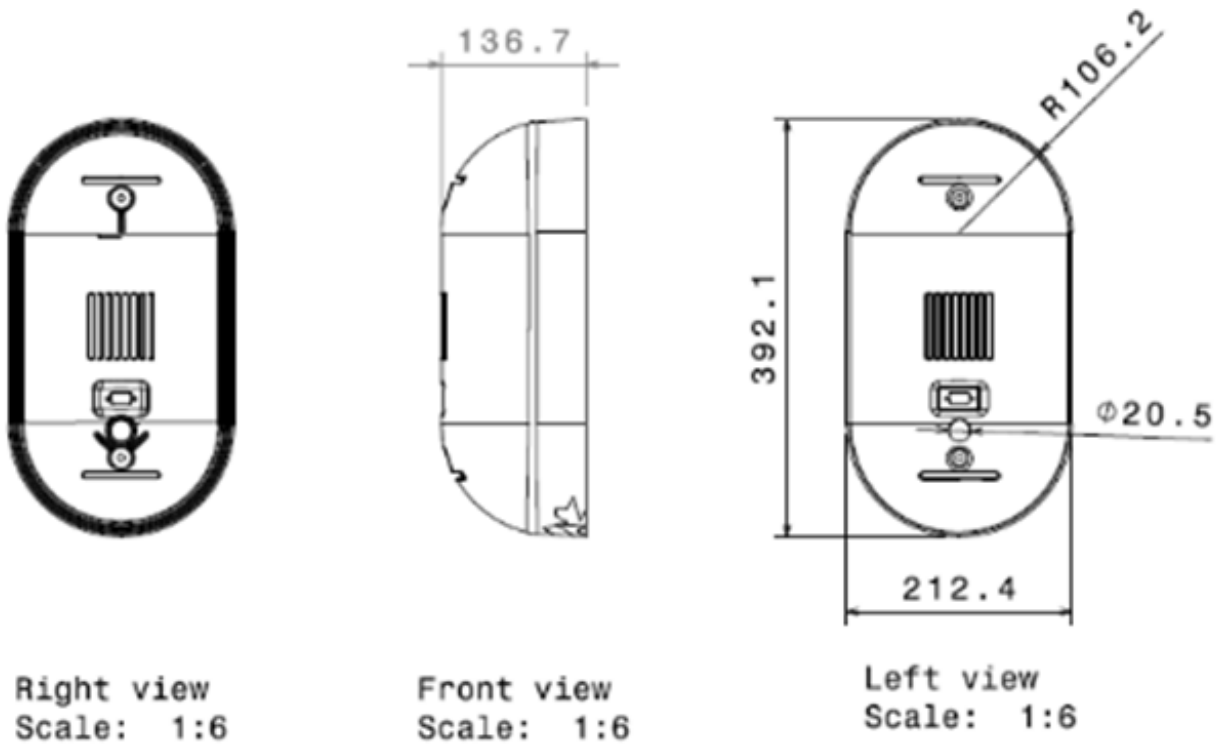




Vistas da peça:

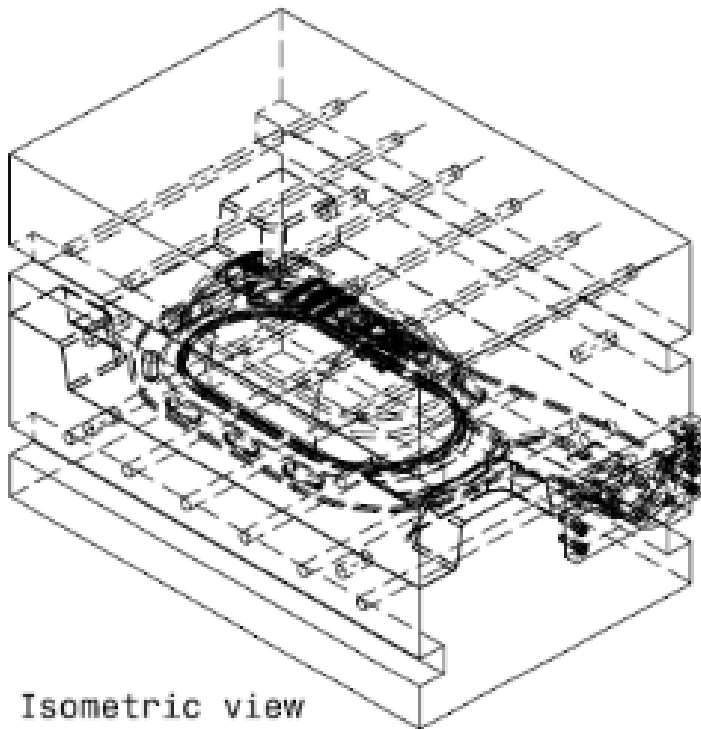


Isometric view
Scale: 1:4

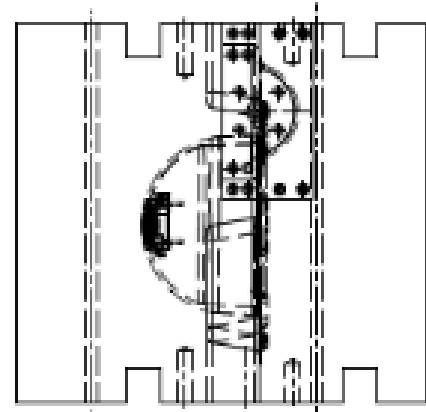


Material: DCPD	Contracção: 1,01	➔
Densidade: 1030 kg/m³	Molde: Magnum Cap	
Massa: 1.038 Kg	Peça Traseira	A6

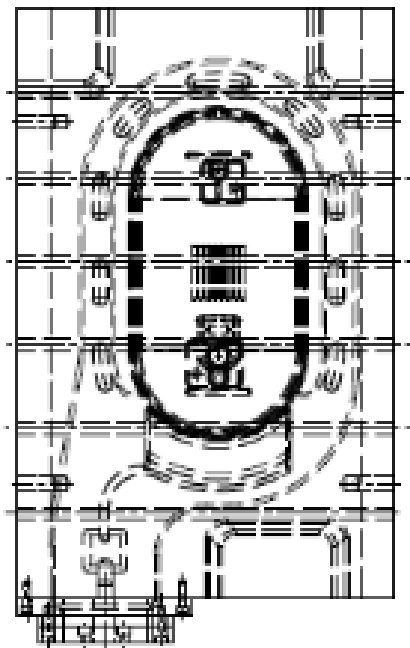
Vistas do molde:



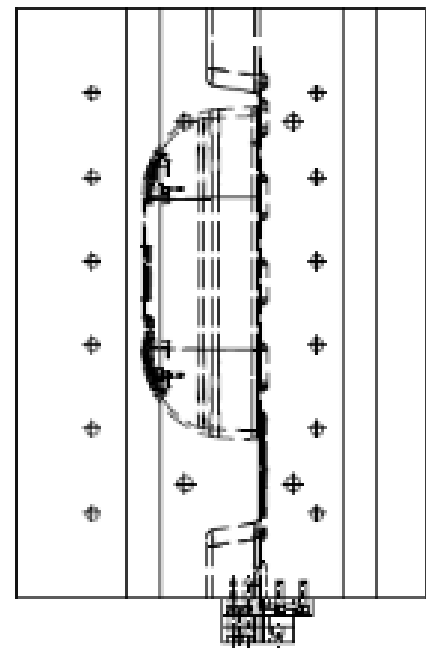
Isometric view
Scale: 1:8



Bottom view
Scale: 1:8



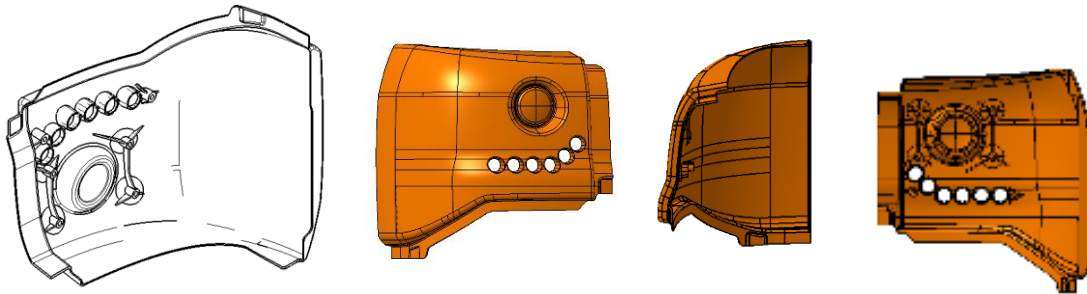
Right view
Scale: 1:8



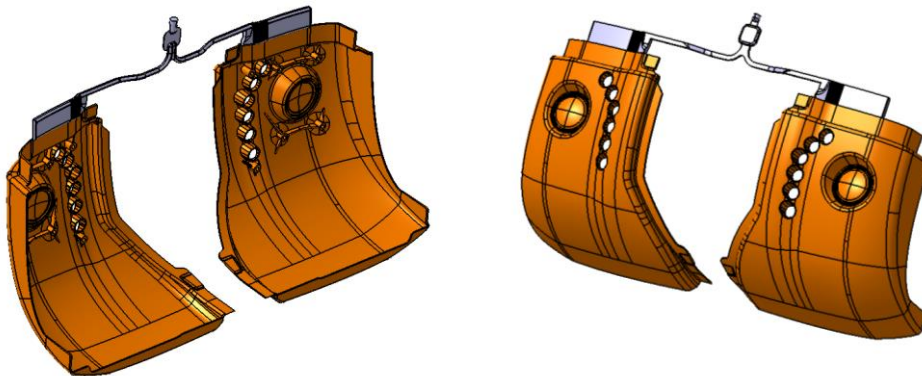
Front view
Scale: 1:8

ANEXO S: Canto

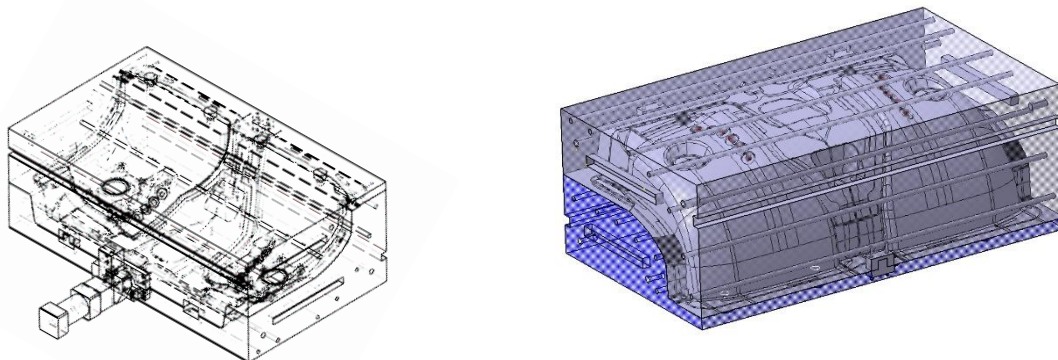
O canto é uma lateral de um autocarro. A sua principal característica é ter uma espessura de 3mm exceto em algumas abas/extremidades com furos, em que a espessura é um pouco maior, 5mm. A peça tem bastantes curvaturas e no seu interior encontram-se nervuras. Esta peça pesa cerca de 1,058 Kg.



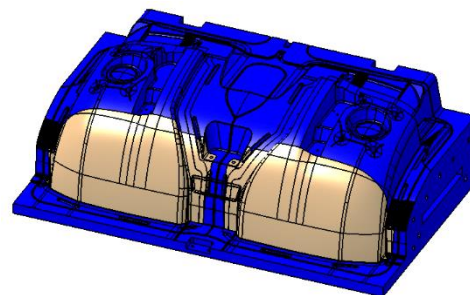
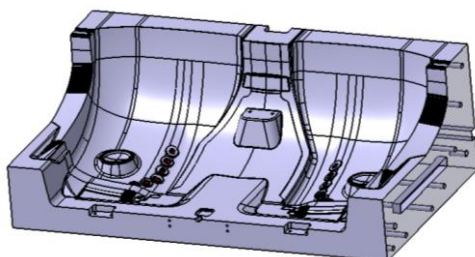
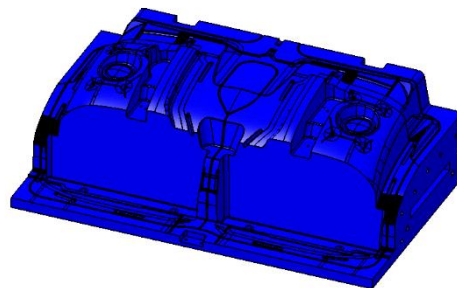
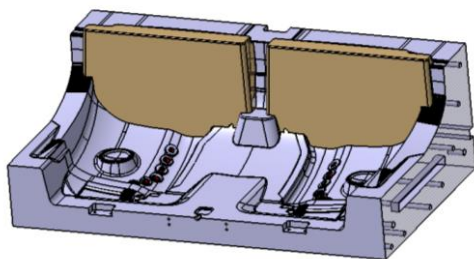
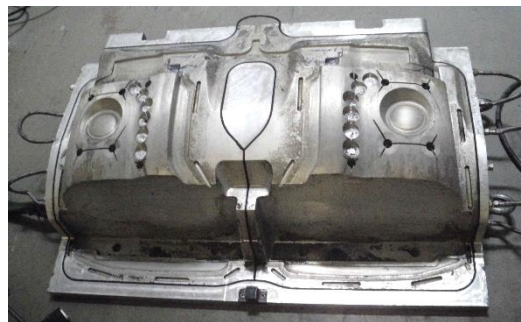
No caso do canto, o mesmo molde tem duas cavidades simétricas, de forma a injetar uma peça direita e outra esquerda. Desta forma a *gate* e *runner* (sistema de injeção) tem a seguinte configuração:



O molde desta peça tem as seguintes dimensões: 1200 x 700 x 433 mm.



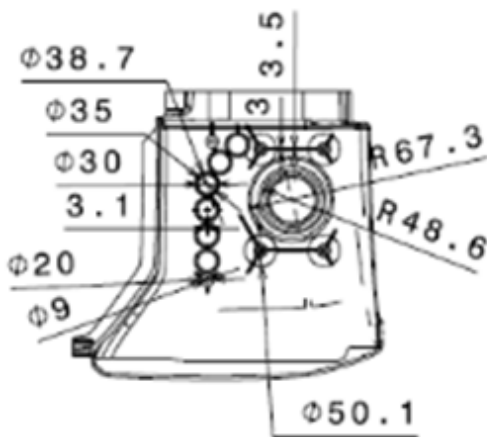
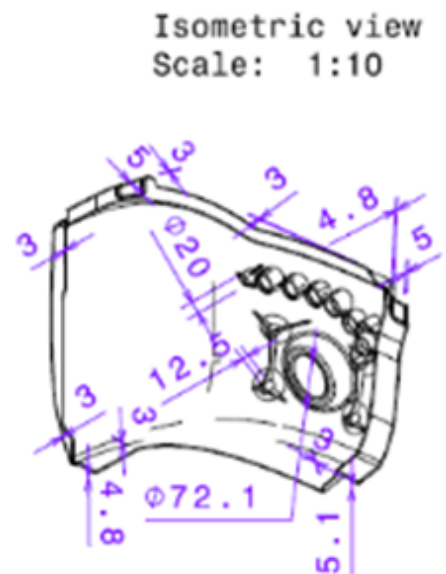
Em relação ao molde, são usados postigos, para fazer uma das abas com contra-saida, em que o movimento para extração é manual.



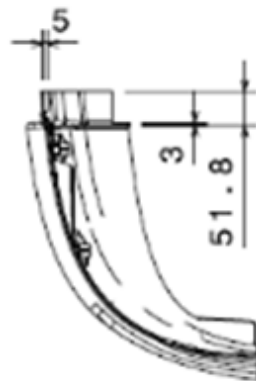
Vistas da peça:



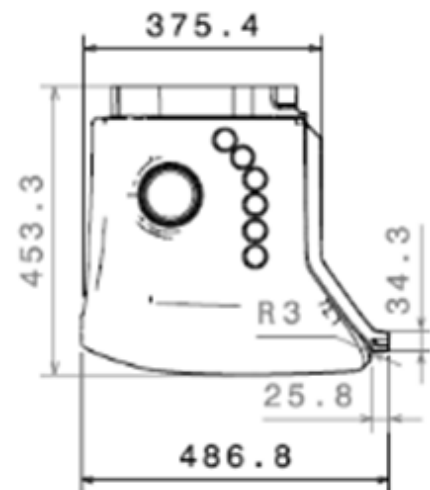
Bottom view
Scale: 1:10



Right view
Scale: 1:10



Front view
Scale: 1:10



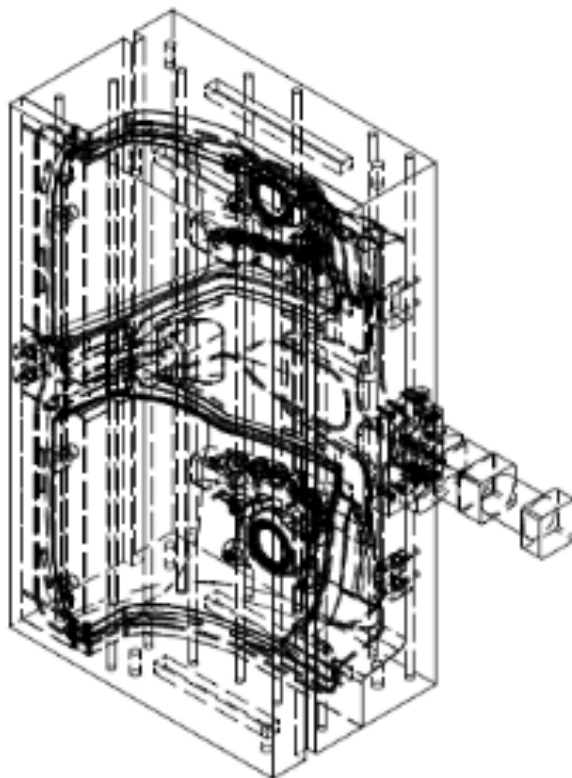
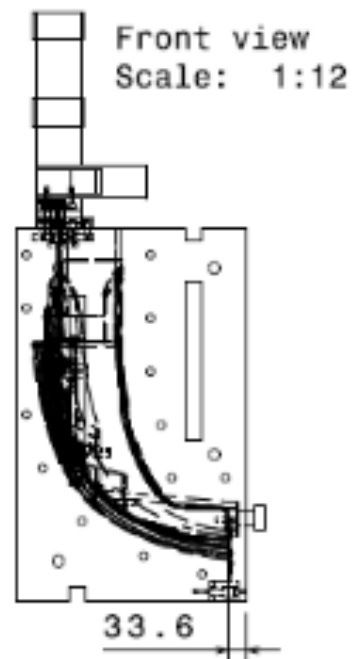
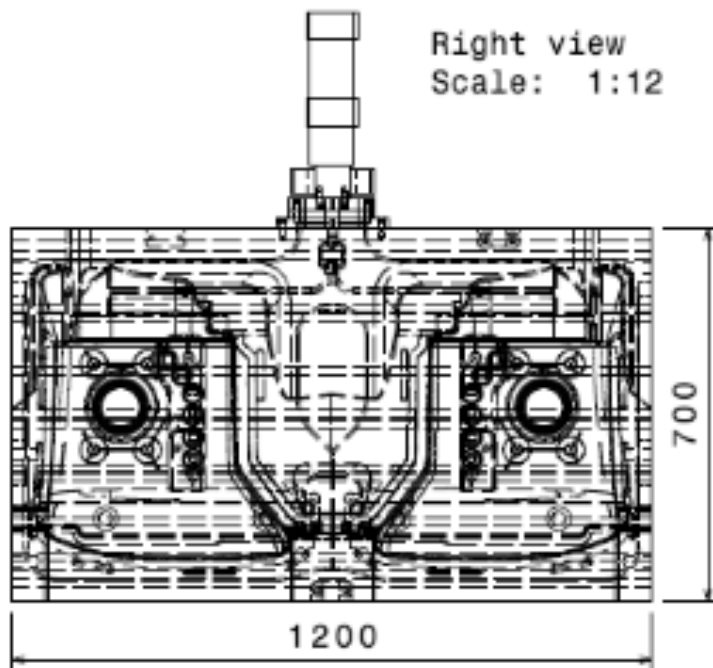
Left view
Scale: 1:10



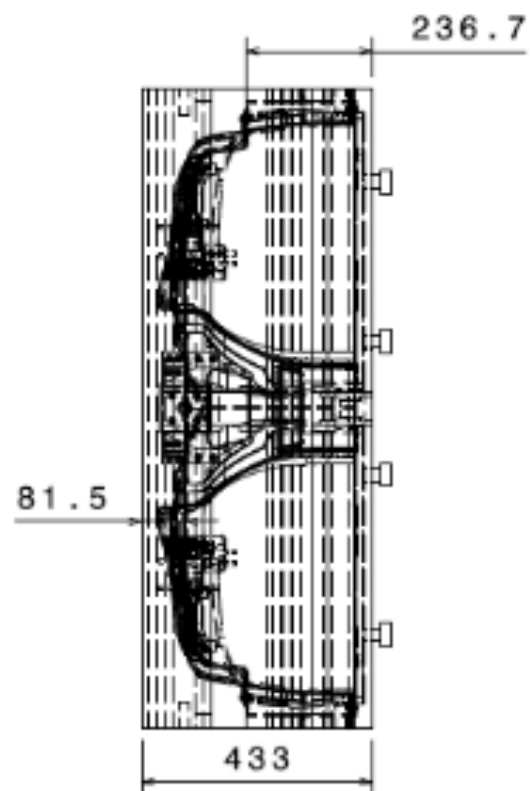
Top view
Scale: 1:10

Material: DCPD	Contração: 1,01	•
Densidade: 1030 kg/m³	Molde: Cantos	
Massa: 1.058 Kg	Canto original	A4

Vistas do molde:



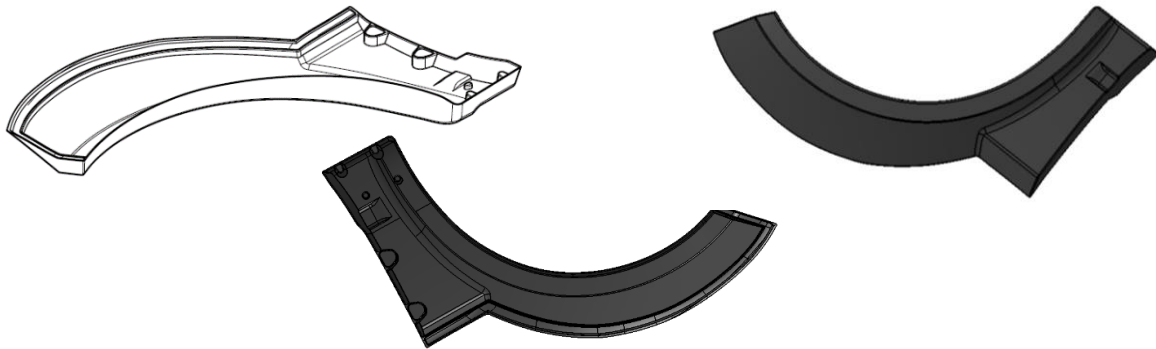
Isometric view
Scale: 1:12



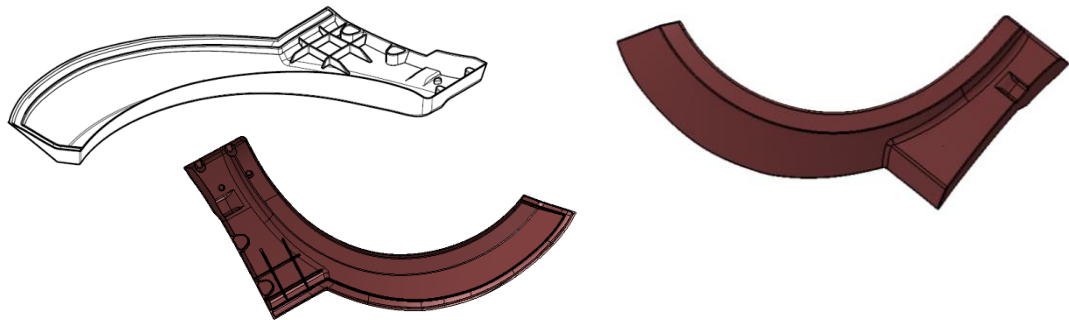
Top view
Scale: 1:12

ANEXO T: Guarda-lamas

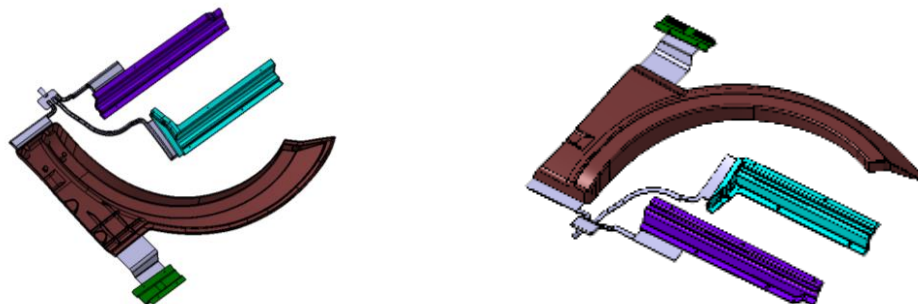
Esta peça sofreu alterações, foram adicionadas ribs à peça, para diminuir o seu empeno. Anteriormente a peça pesava 1,35 kg:



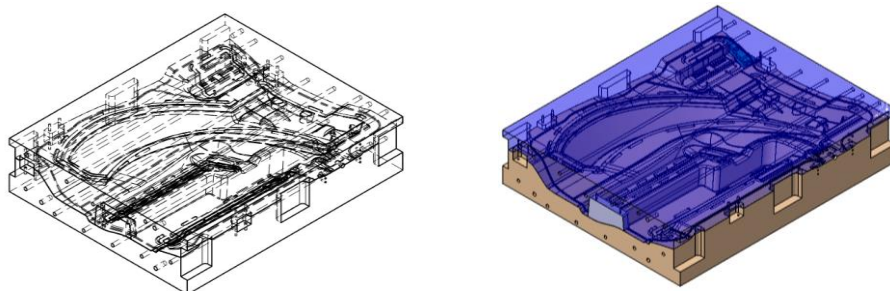
Com a adição de ribs, a peça passou a pesar cerca de 1,412 kg.



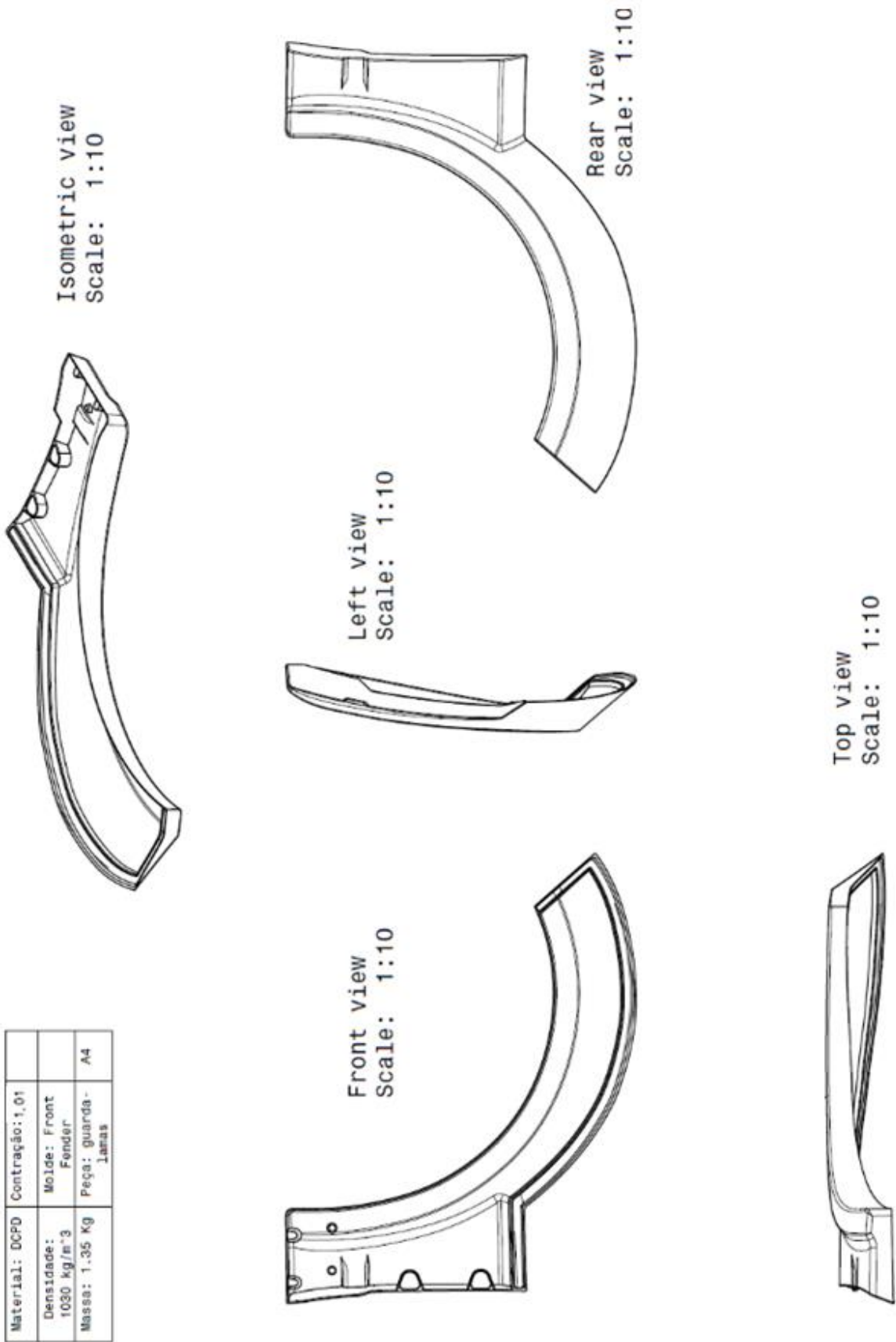
No caso do guarda-lamas, no mesmo molde foram injetadas mais três peças, o que faz com que tenha a seguinte configuração:



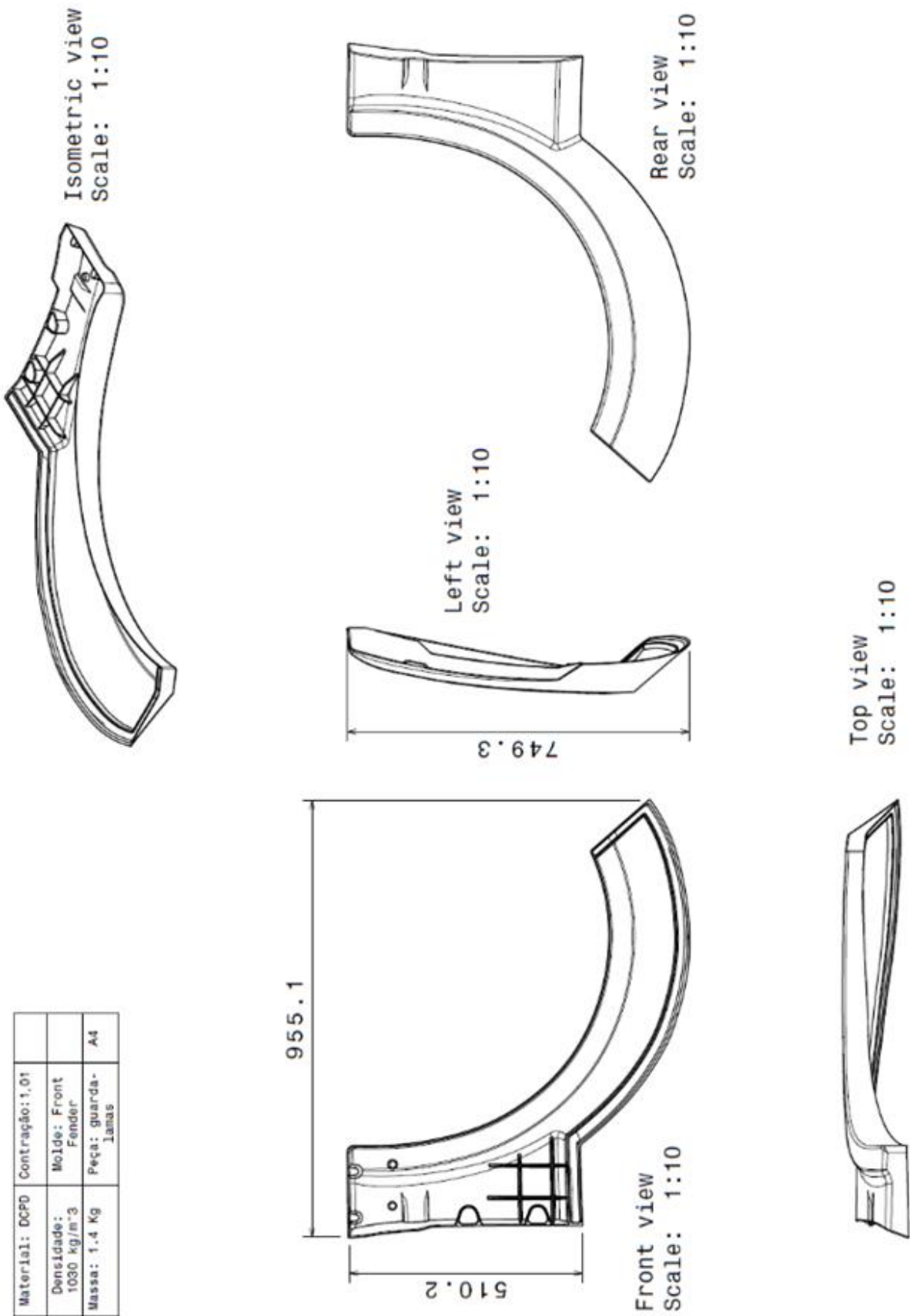
O molde desta peça tem as seguintes dimensões: 1150 x 950 x 247 mm.



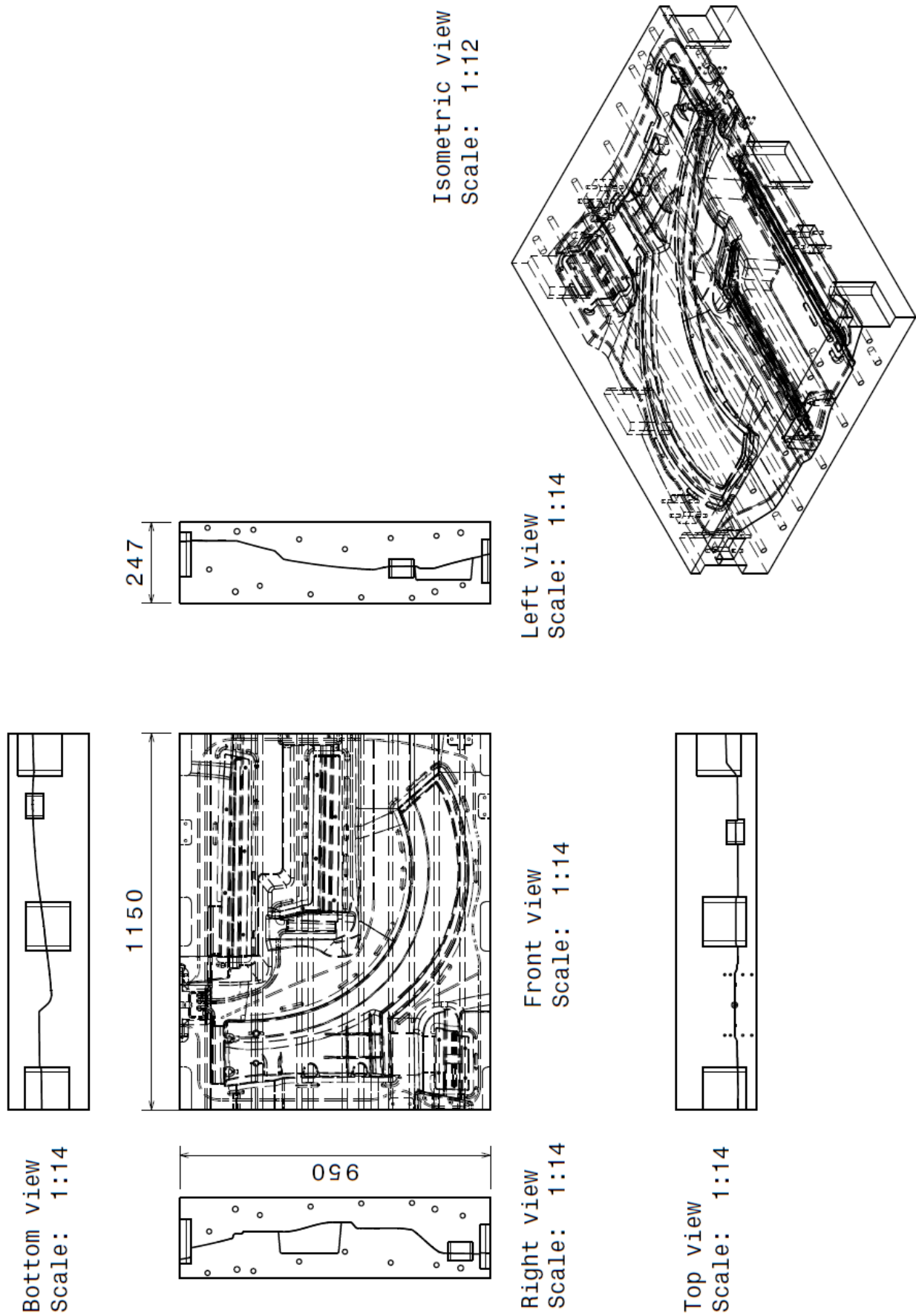
Vistas da peça sem ribs:



Vistas da peça com ribs

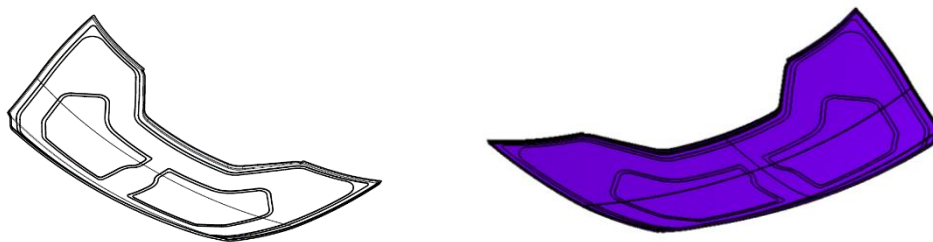


Vista do molde:

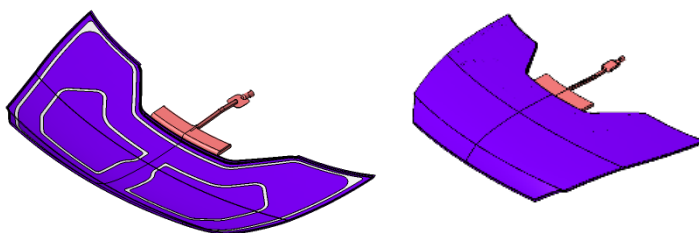


ANEXO U: Bonnet

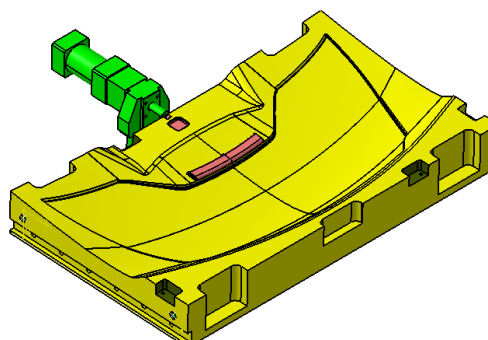
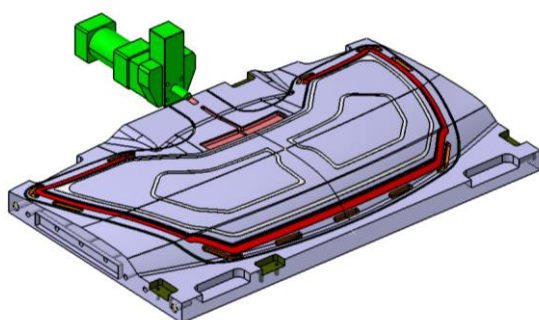
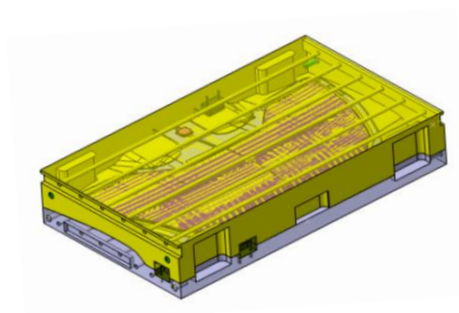
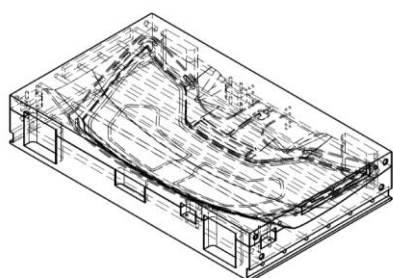
O bonnet pesa cerca de 1,3 kg. Tem uma espessura de 3mm, exceto nas zonas de pistas, onde vai ser colada uma chapa, e nesses locais tem um pouco menos de 3 mm.



No caso do Bonnet a gate tem a seguinte forma:

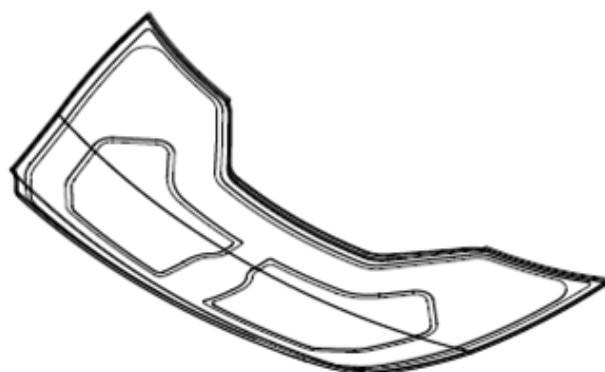


O molde desta peça tem as seguintes dimensões: 1200 x 710 x 209 mm.



Vistas da peça:

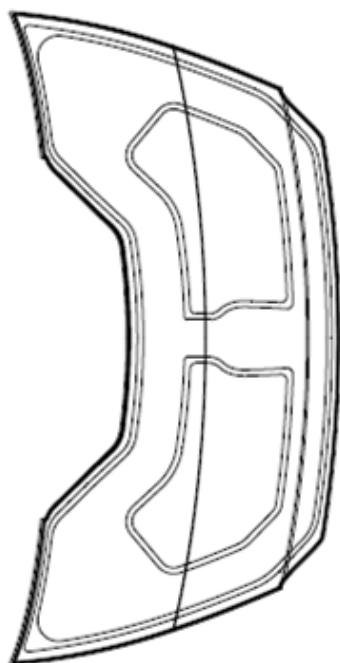
Material: DCPD	Contração: 1,01	
Densidade: 1030 kg/m³	Molde: MOBI - Bonnet	
Massa: 1,30 Kg	Bonnet	A4



Isometric view
Scale: 1:10



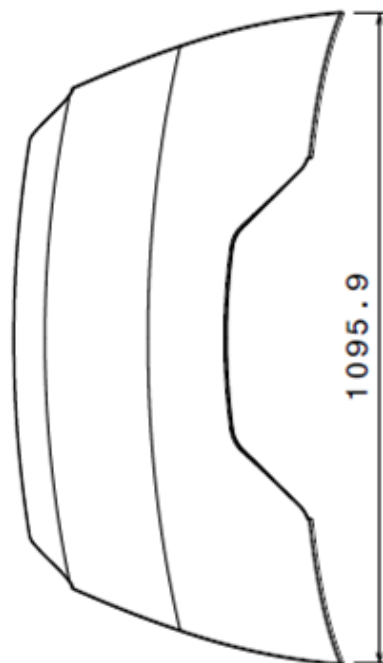
Bottom view
Scale: 1:10



Front view
Scale: 1:10



Left view
Scale: 1:10



Rear view
Scale: 1:10

Vistas do molde:

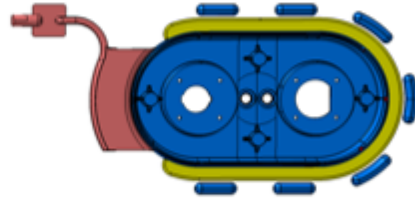
ANEXO V: Ficha de Cálculos e Design da Gate e Reservatórios

Frente:

ROD GATE DESIGN SHEET

Component N		
Part Number:		
Date:		
X	0	
Y	0	
Z	0	

Reynolds number in the gate < 10
 Velocity in the gate :
 < 2 m/s for thick part (> 7 mm)
 < 4 m/s for thin part (3-6 mm)
 Gate to Distributor channel pressure drop ratio > 1,5



Component Parameters	
Component Weight	0,527 Kg
Reservoirs ratio 5%	0,026 Kg
Injected Weight	0,553 Kg
Thickness of part	5 mm
max. Velocity in GAT	4 m/s

Gate Dimensions	
Thickness	1,2 mm
Gate Width (L)	160 mm
Gate Length (Lo)	60 mm
Gate cross section	192 mm ²
Rate	6,30

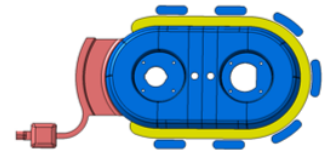
Distributor channel dimensions		
MR Radius	MR	11 mm
Manifold Thick	MT	9,09 mm
Channel cross section		147,97 mm ²
runner section		162,77 mm ²
Equivalent hidrau	EHR	5,60 mm

Step	Injection n Rate	Injection Time	Gate velocity	10	Gate P drop	Channel P drop	1,5
				Reynolds			Gate/ Channel
75	g/s	s	m/s	-	bar	bar	-
	350	1,6	1,8	6,1	3,2	0,5	6,3
	425	1,3	2,2	7,4	3,9	0,6	6,3
X	500	1,1	2,6	8,7	4,6	0,7	6,3
	575	1,0	3,0	10,0	5,2	0,8	6,3
	650	0,9	3,4	11,3	5,9	0,9	6,3
	725	0,8	3,8	12,6	6,6	1,0	6,3
	800	0,7	4,2	13,9	7,3	1,2	6,3
	875	0,6	4,6	15,2	8,0	1,3	6,3
	950	0,6	4,9	16,5	8,7	1,4	6,3
	1025	0,5	5,3	17,8	9,3	1,5	6,3
	1100	0,5	5,7	19,1	10,0	1,6	6,3
	1175	0,5	6,1	20,4	10,7	1,7	6,3
	1250	0,4	6,5	21,7	11,4	1,8	6,3
	1325	0,4	6,9	23,0	12,1	1,9	6,3
	1400	0,4	7,3	24,3	12,8	2,0	6,3
	1475	0,4	7,7	25,5	13,4	2,1	6,3
	1550	0,4	8,1	26,8	14,1	2,2	6,3
	1625	0,3	8,5	28,1	14,8	2,3	6,3
	1700	0,3	8,9	29,4	15,5	2,5	6,3
	1775	0,3	9,2	30,7	16,2	2,6	6,3

liquido 0,978 kg/m³
 solido 1,03

medidos no cad [kg]	com contração	sem contração	nº de reservatórios maquinados
	densidade	densidade solido	
reservatorio	0,067	0,068	7
flash	0,008	0,008	
gate	0,058	0,059	
peça	0,456	0,466	
peça + gate	0,514	0,525	

L reservatórios		
Rho telene	1030,0	kg/m ³
Reservoir - Radius	11,0	mm
Reservoir Mass	0,026	kg
Vol. Reservoirs	2,56E-05	m ³
Volume	25582,05	mm ³
Pi	3,141593	
L total	134,6	mm
Nº Reservoir	20	
L / reservoir	6,7	mm



projetados

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Frente M. Cap	0,525	0,02625

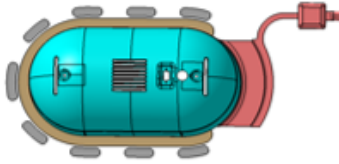
check

0,042 diferença entre o projetado e o cad

reservatorios calculados de acordo com os projetados, e os maquinados (se estiverem de acordo com o projeto) devem ter mais 0,04 Kg



Traseira:

ROD GATE DESIGN SHEET																																																																																																																																																																					
Component Name:																																																																																																																																																																					
Part Number:																																																																																																																																																																					
Date:																																																																																																																																																																					
	X	0																																																																																																																																																																			
	Y	0																																																																																																																																																																			
	Z	0																																																																																																																																																																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Reynolds number in the gate < 10</p> <p>Velocity in the gate :</p> <p>< 2 m/s for thick part (> 7 mm)</p> <p>< 4 m/s for thin part (3-6 mm)</p> <p>Gate to Distributor channel pressure drop ratio > 1,5</p> </div> <div style="width: 50%;"></div> </div>																																																																																																																																																																					
Component Parameters			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Step</th> <th>Injection Rate</th> <th>Injection Time</th> <th>Gate velocity</th> <th>Reynolds</th> <th>Gate P drop</th> <th>Channel P drop</th> <th>Gate/Channel</th> </tr> <tr> <th></th> <th>g/s</th> <th>s</th> <th>m/s</th> <th></th> <th>bar</th> <th>bar</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75</td> <td>350</td> <td>3,3</td> <td>1,7</td> <td>5,7</td> <td>3,0</td> <td>0,5</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td rowspan="15" style="text-align: center; vertical-align: middle;">X</td> <td>425</td> <td>2,7</td> <td>2,1</td> <td>6,9</td> <td>3,6</td> <td>0,7</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>2,3</td> <td>2,5</td> <td>8,2</td> <td>4,3</td> <td>0,8</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>575</td> <td>2,0</td> <td>2,8</td> <td>9,4</td> <td>4,9</td> <td>0,9</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>650</td> <td>1,8</td> <td>3,2</td> <td>10,6</td> <td>5,6</td> <td>1,0</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>725</td> <td>1,6</td> <td>3,6</td> <td>11,8</td> <td>6,2</td> <td>1,1</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>1,4</td> <td>3,9</td> <td>13,0</td> <td>6,9</td> <td>1,2</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>875</td> <td>1,3</td> <td>4,3</td> <td>14,3</td> <td>7,5</td> <td>1,3</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>950</td> <td>1,2</td> <td>4,7</td> <td>15,5</td> <td>8,1</td> <td>1,5</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1025</td> <td>1,1</td> <td>5,0</td> <td>16,7</td> <td>8,8</td> <td>1,6</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1100</td> <td>1,1</td> <td>5,4</td> <td>17,9</td> <td>9,4</td> <td>1,7</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1175</td> <td>1,0</td> <td>5,8</td> <td>19,2</td> <td>10,1</td> <td>1,8</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1250</td> <td>0,9</td> <td>6,1</td> <td>20,4</td> <td>10,7</td> <td>1,9</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1325</td> <td>0,9</td> <td>6,5</td> <td>21,6</td> <td>11,4</td> <td>2,0</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1400</td> <td>0,8</td> <td>6,9</td> <td>22,8</td> <td>12,0</td> <td>2,2</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1475</td> <td>0,8</td> <td>7,2</td> <td>24,0</td> <td>12,7</td> <td>2,3</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1550</td> <td>0,7</td> <td>7,6</td> <td>25,3</td> <td>13,3</td> <td>2,4</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1625</td> <td>0,7</td> <td>8,0</td> <td>26,5</td> <td>13,9</td> <td>2,5</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1700</td> <td>0,7</td> <td>8,3</td> <td>27,7</td> <td>14,6</td> <td>2,6</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>1775</td> <td>0,7</td> <td>8,7</td> <td>28,9</td> <td>15,2</td> <td>2,7</td> <td>5,6</td> </tr> </tbody> </table>					Step	Injection Rate	Injection Time	Gate velocity	Reynolds	Gate P drop	Channel P drop	Gate/Channel		g/s	s	m/s		bar	bar		75	350	3,3	1,7	5,7	3,0	0,5	5,6	X	425	2,7	2,1	6,9	3,6	0,7	5,6	500	2,3	2,5	8,2	4,3	0,8	5,6	575	2,0	2,8	9,4	4,9	0,9	5,6	650	1,8	3,2	10,6	5,6	1,0	5,6	725	1,6	3,6	11,8	6,2	1,1	5,6	800	1,4	3,9	13,0	6,9	1,2	5,6	875	1,3	4,3	14,3	7,5	1,3	5,6	950	1,2	4,7	15,5	8,1	1,5	5,6	1025	1,1	5,0	16,7	8,8	1,6	5,6	1100	1,1	5,4	17,9	9,4	1,7	5,6	1175	1,0	5,8	19,2	10,1	1,8	5,6	1250	0,9	6,1	20,4	10,7	1,9	5,6	1325	0,9	6,5	21,6	11,4	2,0	5,6	1400	0,8	6,9	22,8	12,0	2,2	5,6	1475	0,8	7,2	24,0	12,7	2,3	5,6	1550	0,7	7,6	25,3	13,3	2,4	5,6	1625	0,7	8,0	26,5	13,9	2,5	5,6	1700	0,7	8,3	27,7	14,6	2,6	5,6	1775	0,7	8,7	28,9	15,2	2,7	5,6
Step	Injection Rate	Injection Time	Gate velocity	Reynolds	Gate P drop	Channel P drop	Gate/Channel																																																																																																																																																														
	g/s	s	m/s		bar	bar																																																																																																																																																															
75	350	3,3	1,7	5,7	3,0	0,5	5,6																																																																																																																																																														
X	425	2,7	2,1	6,9	3,6	0,7	5,6																																																																																																																																																														
	500	2,3	2,5	8,2	4,3	0,8	5,6																																																																																																																																																														
	575	2,0	2,8	9,4	4,9	0,9	5,6																																																																																																																																																														
	650	1,8	3,2	10,6	5,6	1,0	5,6																																																																																																																																																														
	725	1,6	3,6	11,8	6,2	1,1	5,6																																																																																																																																																														
	800	1,4	3,9	13,0	6,9	1,2	5,6																																																																																																																																																														
	875	1,3	4,3	14,3	7,5	1,3	5,6																																																																																																																																																														
	950	1,2	4,7	15,5	8,1	1,5	5,6																																																																																																																																																														
	1025	1,1	5,0	16,7	8,8	1,6	5,6																																																																																																																																																														
	1100	1,1	5,4	17,9	9,4	1,7	5,6																																																																																																																																																														
	1175	1,0	5,8	19,2	10,1	1,8	5,6																																																																																																																																																														
	1250	0,9	6,1	20,4	10,7	1,9	5,6																																																																																																																																																														
	1325	0,9	6,5	21,6	11,4	2,0	5,6																																																																																																																																																														
	1400	0,8	6,9	22,8	12,0	2,2	5,6																																																																																																																																																														
	1475	0,8	7,2	24,0	12,7	2,3	5,6																																																																																																																																																														
1550	0,7	7,6	25,3	13,3	2,4	5,6																																																																																																																																																															
1625	0,7	8,0	26,5	13,9	2,5	5,6																																																																																																																																																															
1700	0,7	8,3	27,7	14,6	2,6	5,6																																																																																																																																																															
1775	0,7	8,7	28,9	15,2	2,7	5,6																																																																																																																																																															
Gate Dimensions			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Thickness</td> <td>1,2</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Gate Width (L)</td> <td>170</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Gate Length (Lo)</td> <td>60</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Gate cross section</td> <td>204</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>Rate</td> <td>5,58</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Thickness	1,2	mm	Gate Width (L)	170	mm	Gate Length (Lo)	60	mm	Gate cross section	204	mm ²	Rate	5,58																																																																																																																																																
Thickness	1,2	mm																																																																																																																																																																			
Gate Width (L)	170	mm																																																																																																																																																																			
Gate Length (Lo)	60	mm																																																																																																																																																																			
Gate cross section	204	mm ²																																																																																																																																																																			
Rate	5,58																																																																																																																																																																				
Distributor channel dimensions			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>MR Radius</td> <td>MR</td> <td>11</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Manifold Thick</td> <td>MT</td> <td>9,09</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Channel cross section</td> <td></td> <td>147,97</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>runner section</td> <td></td> <td>162,77</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>Equivalent hydraulic radius</td> <td>EHR</td> <td>5,60</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>					MR Radius	MR	11	mm	Manifold Thick	MT	9,09	mm	Channel cross section		147,97	mm ²	runner section		162,77	mm ²	Equivalent hydraulic radius	EHR	5,60	mm																																																																																																																																										
MR Radius	MR	11	mm																																																																																																																																																																		
Manifold Thick	MT	9,09	mm																																																																																																																																																																		
Channel cross section		147,97	mm ²																																																																																																																																																																		
runner section		162,77	mm ²																																																																																																																																																																		
Equivalent hydraulic radius	EHR	5,60	mm																																																																																																																																																																		

liquido 0,978 kg/m³
solido 1,03

medidos no cad [kg]	com contração	sem contração	n° de reservatórios
reservatorio	densidade 0,073	densidade solido 0,074	maquinados 9
flash	0,008	0,008	
gate	0,06	0,061	
peça	1,015	1,038	
peça + gate	1,075	1,099	

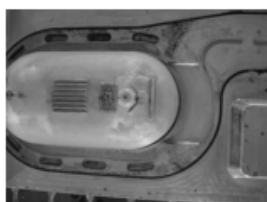
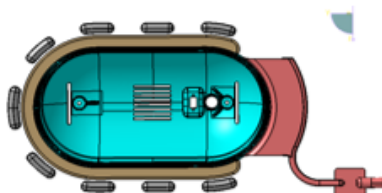
L reservatórios		
Rho telene	1030,0	kg/m ³
Reservoir - Radius	11,0	mm
Reservoir Mass	0,055	kg
Vol. Reservoirs	5,34E-05	m ³
Volume	53446,6	mm ³
Pi	3,141593	
L total	281,2	mm
N° Reservoir	20	
L / reservoir	14,1	mm

projetados		
Peça	soma peso cad sem contração +	reservatórios - 5% sem contração [kg]
Traseira M. Cap	1,099	0,05495

0,01905 diferença entre o projetado e o cad

reservatórios calculados de acordo com os projetados, e os maquinados se estiverem de acordo com o projeto devem ter mais 0,02 Kg

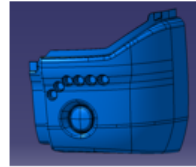
traseira antiga		
medidos no cad [kg]	com contração	sem contração
peça	densidade liquido 1,02	densidade solido 1,043



Canto:

ROD GATE DESIGN SHEET

Component Name:		
Part Number:		
Date:		
	X	0
	Y	0
	Z	0



Reynolds number in the gate < 10
 Velocity in the gate :
 < 2 m/s for thick part (> 7 mm)
 < 4 m/s for thin part (3-6 mm)
 Gate to Distributor channel pressure drop ratio > 1,5

Component Parameters		
Component Weight		2,35 Kg
Reservoirs ratio	5%	0,1175 Kg
Injected Weight		2,4675 Kg
Thickness of part		3 mm
max. Velocity in GATE		4 m/s

Gate Dimensions		
Thickness		1 mm
Gate Width (L)		350 mm
Gate Length (Lo)		40 mm
Gate cross section		350 mm ²
Rate		1,52

Distributor channel dimensions		
MR Radius	MR	11 mm
Manifold Thick	MT	9,09 mm
Channel cross section		147,97 mm ²
runner section		162,77 mm ²
Equivalent hydraulic radius	EHR	5,60 mm

Step	Injection Rate	Injection Time	Gate velocity	10	Gate P drop	Channel P drop	1.5
				Reynolds			Gate/ Channel
75	g/s	s	m/s	-	bar	bar	-
X	350	7,1	1,0	2,8	1,7	1,1	1,5
	425	5,8	1,2	3,4	2,0	1,3	1,5
	500	4,9	1,4	4,0	2,4	1,6	1,5
	575	4,3	1,6	4,6	2,8	1,8	1,5
	650	3,8	1,9	5,1	3,1	2,1	1,5
	725	3,4	2,1	5,7	3,5	2,3	1,5
	800	3,1	2,3	6,3	3,8	2,5	1,5
	875	2,8	2,5	6,9	4,2	2,8	1,5
	950	2,6	2,7	7,5	4,6	3,0	1,5
	1025	2,4	2,9	8,1	4,9	3,2	1,5
	1100	2,2	3,1	8,7	5,3	3,5	1,5
	1175	2,1	3,4	9,3	5,6	3,7	1,5
	1250	2,0	3,6	9,9	6,0	4,0	1,5
	1325	1,9	3,8	10,5	6,4	4,2	1,5
	1400	1,8	4,0	11,1	6,7	4,4	1,5
	1475	1,7	4,2	11,7	7,1	4,7	1,5
	1550	1,6	4,4	12,3	7,4	4,9	1,5
	1625	1,5	4,6	12,9	7,8	5,1	1,5
	1700	1,5	4,9	13,5	8,2	5,4	1,5
	1775	1,4	5,1	14,1	8,5	5,6	1,5

medidos no cad [kg]	com contração	sem contração	n° de reservatórios maquinados
	densidade	densidade solido	
reservatorio	0,117	0,12	18
flash	0,019	0,019	
gate	0,119	0,122	
2 peças	2,071	2,116	
peça + gate	2,19	2,238	

liquido 0,978 kg/m³
 solido 1,03

L reservatórios		
Rho telene	1030,0	kg/m ³
Reservoir - Radius	11,0	mm
Reservoir Mass	0,118	kg
Vol. Reservoirs	1,14E-04	m ³
Volume	114077,7	mm ³
Pi	3,141593	
L total	600,2	mm
N° Reservoir	20	
L /reservoir	30,0	mm

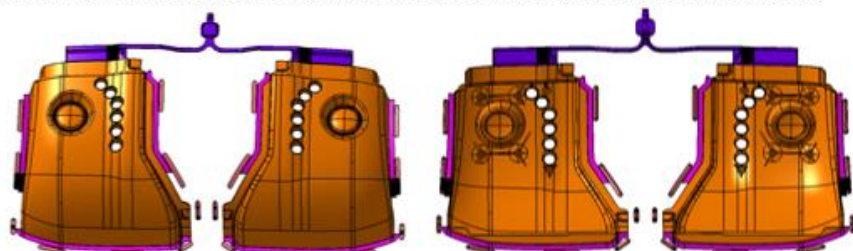
projetados

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Canto	2,238	0,1119

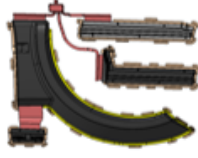
check

0,0081 diferença entre o projetado e o cad

reservatorios calculados de acordo com os projetados, e com os maquinados, se a maquinação estiver de acordo com o projeto



Guarda-Lamas:

ROD GATE DESIGN SHEET			
Component Name			
Part Number:			
Date:			
	X	0	
	Y	0	
	Z	0	
Reynolds number in the gate < 10 Velocity in the gate : < 2 m/s for thick part (> 7 mm) < 4 m/s for thin part (3-6 mm) Gate to Distributor channel pressure drop ratio > 1,5			

Component Parameters		
Component Weight		2,031 Kg
Reservoirs ratio	5%	0,10155 Kg
Injected Weight		2,13255 Kg
Thickness of part		3 mm
max. Velocity in GATE		4 m/s

Gate Dimensions		
Thickness		1 mm
Gate Width (L)		180 mm
Gate Length (Lo)		36 mm
Gate cross section		180 mm²
Rate		5,16

Distributor channel dimensions		
MR Radius	MR	11 mm
Manifold Thick	MT	9,09 mm
Channel cross section		147,97 mm²
runner section		162,77 mm²
Equivalent hydraulic i	EHR	5,60 mm

Step	Injection Rate g/s	Injection Time s	Gate velocity m/s	10	Gate P drop bar	Channel P drop bar	1,5
				Reynolds			Gate/ Channel
75	350	6,1	1,9	5,4	2,9	0,6	5,2
X	425	5,0	2,4	6,5	3,6	0,7	5,2
	500	4,3	2,8	7,7	4,2	0,8	5,2
	575	3,7	3,2	8,9	4,8	0,9	5,2
	650	3,3	3,6	10,0	5,5	1,1	5,2
	725	2,9	4,0	11,2	6,1	1,2	5,2
	800	2,7	4,4	12,3	6,7	1,3	5,2
	875	2,4	4,9	13,5	7,4	1,4	5,2
	950	2,2	5,3	14,6	8,0	1,5	5,2
	1025	2,1	5,7	15,8	8,6	1,7	5,2
	1100	1,9	6,1	16,9	9,2	1,8	5,2
	1175	1,8	6,5	18,1	9,9	1,9	5,2
	1250	1,7	6,9	19,2	10,5	2,0	5,2
	1325	1,6	7,4	20,4	11,1	2,2	5,2
	1400	1,5	7,8	21,6	11,8	2,3	5,2
	1475	1,4	8,2	22,7	12,4	2,4	5,2
	1550	1,4	8,6	23,9	13,0	2,5	5,2
	1625	1,3	9,0	25,0	13,7	2,6	5,2
	1700	1,3	9,4	26,2	14,3	2,8	5,2
	1775	1,2	9,9	27,3	14,9	2,9	5,2

liquido
solido

0,978 kg/m³
1,03

medidos no cad [kg]	com contração	sem contração
	densidade liquido	densidade solido
reservatorio	0,129	0,132
flash	0,029	0,03
gate principal	0,147	0,151
gate peça 3	0,018	0,019
peça glamas	1,381	1,412

peça glamas +1+2+gate principal	1,986	2,031
---------------------------------	-------	-------

projetados

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Guarda-lamas com ribs	2,031	0,10155

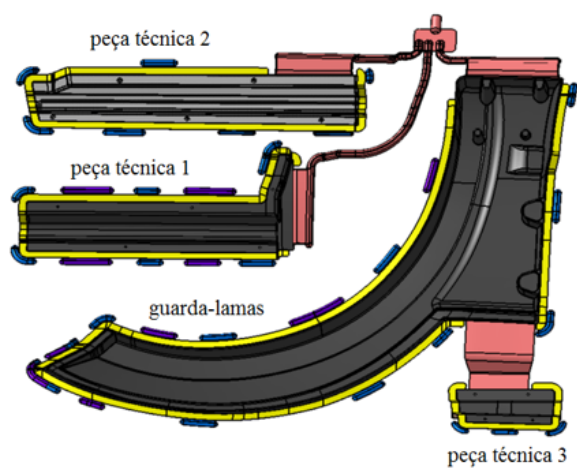
check

0,03045 diferença entre o projetado e o cad

reservatorios calculados de acordo com os projetados, e os maquinados se estiverem de acordo com o projeto devem ter mais 0,03 Kg

guarda lamas antigo - sem ribs		
medidos no cad [kg]	com contração	sem contração
	densidade liquido	densidade solido
peça glamas	1,32	1,348

L reservatórios		
Rho telene	1030,0	kg/m³
Reservoir - Radius	11,0	mm
Reservoir Mass	0,102	kg
Vol. Reservoirs	9,86E-05	m³
Volume	98592,2	mm³
Pi	3,141593	
L total	518,7	mm
Nº Reservoir	20	
L / reservoir	25,9	mm



Molde Guarda lamas	cad com contração - liquido [kg]	cad sem contração - solido [kg]
Peça tecnica	0,228	0,233
Peça tecnica	0,23	0,235
Peça tecnica	0,079	0,081
Total peças 1,2 e 3	0,537	0,549
gate	0,147	0,151
gate peça 3	0,018	0,019
soma das	0,165	0,17
soma peça tecnica 1 e 2	0,458	0,468

	nº de reservatórios maquinados
Glamas	15
P.tecnica1	10
P.tecnica2	7
total	32
P.tecnica3	3

Bonnet:

ROD GATE DESIGN SHEET			
Component Name:			
Part Number:			
Date:			
X	0		
Y	0		
Z	0		

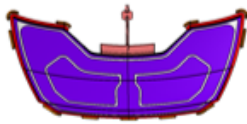
Reynolds number in the gate < 10

Velocity in the gate :

< 2 m/s for thick part (> 7 mm)

< 4 m/s for thin part (3-6 mm)

Gate to Distributor channel pressure drop ratio > 1,5



Component Parameters		
Component Weight		1,379 Kg
Reservoirs ratio	5%	0,069 Kg
Injected Weight		1,448 Kg
Thickness of part		3 mm
max. Velocity in GATE		4 m/s

Gate Dimensions		
Thickness		1 mm
Gate Width (L)		250 mm
Gate Length (Lo)		38 mm
Gate cross section		250 mm ²
Rate		4,00

Distributor channel dimensions		
MR Radius	MR	12 mm
Manifold Thick	MT	9,32 mm
Channel cross section		176,09 mm ²
runner section		193,70 mm ²
Equivalent hydraulic r	EHR	6,11 mm

Step	Injection Rate	Injection Time	Gate velocity	Reynolds	Gate P drop	Channel P drop	Gate/Channel
	g/s	s	m/s	-	bar	bar	-
75	350	4,1	1,4	3,9	2,2	0,6	4,0
	425	3,4	1,7	4,7	2,7	0,7	4,0
	500	2,9	2,0	5,5	3,2	0,8	4,0
	575	2,5	2,3	6,4	3,7	0,9	4,0
	650	2,2	2,6	7,2	4,1	1,0	4,0
	725	2,0	2,9	8,0	4,6	1,2	4,0
	800	1,8	3,2	8,9	5,1	1,3	4,0
	875	1,7	3,5	9,7	5,6	1,4	4,0
	950	1,5	3,8	10,5	6,1	1,5	4,0
	1025	1,4	4,1	11,4	6,5	1,6	4,0
	1100	1,3	4,4	12,2	7,0	1,8	4,0
	1175	1,2	4,7	13,0	7,5	1,9	4,0
	1250	1,2	5,0	13,9	8,0	2,0	4,0
	1325	1,1	5,3	14,7	8,5	2,1	4,0
	1400	1,0	5,6	15,5	8,9	2,2	4,0
	1475	1,0	5,9	16,4	9,4	2,4	4,0
	1550	0,9	6,2	17,2	9,9	2,5	4,0
	1625	0,9	6,5	18,0	10,4	2,6	4,0
	1700	0,9	6,8	18,8	10,9	2,7	4,0
	1775	0,8	7,1	19,7	11,3	2,8	4,0
X	550	2,6	2,2	6,1	3,5	0,9	4,0

liquido 0,978 kg/m³
solido 1,03

medidos no cad [kg]	com contração liquido	sem contração densidade solido	n° de reservatórios maquinados
reservatorio	0,075	0,077	11
flash	0,013	0,013	
gate	0,078	0,079	
peça	1,272	1,3	
peça + gate	1,35	1,379	

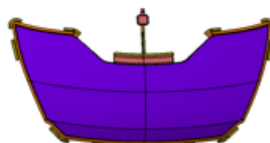
L reservatórios		
Rho telene	1030,0	kg/m ³
Reservoir - Radius	11,0	mm
Reservoir Mass	0,069	kg
Vol. Reservoirs	6,69E-05	m ³
Volume	66941,7	mm ³
PI	3,141593	
L total	352,2	mm
N° Reservoir	20	
L / reservoir	17,6	mm

projetados		
Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatórios - 5% sem contração [kg]
Bonnet	1,379	0,06895

check

0,0081 diferença entre o projetado e o cad

reservatorios calculados de acordo com os projetados, e os maquinados se estiverem de acordo com o projeto devem ter mais 0,008 Kg



projeto dos reservatorios - segundo a telene - 5% do peso da peça + gate	diferença entre o projeto e o cad [kg]
--	--

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Bonnet	1,379	0,069

0,0081

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Canto	2,238	0,112

check

0,0081

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Frente M. Cap	0,525	0,026

check

0,0418

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Traseira M. Cap	1,099	0,055

check

0,0191

Peça	soma peso cad sem contração + gate [kg]	reservatorios - 5% sem contração [kg]
Guarda-lamas com ribs	2,031	0,102

check

0,0305

ANEXO X: Tempos de Injeção

Bonnet

medidos no cad [kg]	com contração
	densidade liquido [kg/m3]
reservatorio	0,075
flash	0,013
gate	0,078
peça	1,272
peça + gate	1,35
Peça +gate + flash + reservatorios	1,438
Peça +gate + flash + reservatorios	1,438

Tempo estimado com contração - liquido	
taxa de injeção [g/s]	tempo de injeção estimado [s]

550	2,45
550	2,61
500	2,88

Canto

medidos no cad [kg]	com contração
	densidade liquido
reservatorio	0,117
flash	0,019
gate	0,119
2 peças	2,18
peça + gate	2,299
Peças +gate + flash + reservatorios	2,435

500	4,598
500	4,87

Frente

medidos no cad [kg]	com contração
	densidade liquido
reservatorio	0,067
flash	0,008
gate	0,058
peça	0,456
peça + gate	0,514
Peça +gate + flash + reservatorios	0,589

500	1,028
500	1,178

Traseira

medidos no cad [kg]	com contração densidade liquido
reservatorio	0,073
flash	0,008
gate	0,06
peça	1,069
peça + gate	1,129
Peça +gate + flash + reservatorios	1,21
traseira antiga	1,02
antiga + gate	1,08
antiga+ gate+ flash+ reservatorios	1,161

500	2,258
500	2,42
500	2,04
500	2,16
500	2,322

Guarda lamas

medidos no cad [kg]	com contração densidade liquido
reservatorio	0,129
flash	0,029
gate principal	0,147
gate peça 3	0,018
peça glamas	1,381
peça glamas +1+2+gate principal	2,01
Peças +gates	2,083
Peças +gates + flash + reservatorios	2,223
glamas antigo - sem ribs	1,32
peças + gates	2,022
peças+ gates+ flash+ reservatorios	2,18

500	4,166
500	4,446
500	2,64
500	4,044
500	4,36

Total peças 1,2 e 3	0,537
gate principal	0,147
gate peça 3	0,018

ANEXO Z: Resumo das condições de Processamento

RESUMO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE PEÇAS BOAS											
Peça	Taxa de injeção g/s	Tempo de injeção real [s]	peso injetado [g]	Temp. (°C) do material A/B	Pressão da mistura de material (bar)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo	Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	peso da peça antes de trimar [g]	diferença peso injetado - peso antes de trimar [g]	dp de trimar [g]
Frente M. Cap	500	1,3	650	22/22	100	76/62	60	cav	600	50	488
Traseira antiga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Traseira M.	500	2,7	1350	19/19	100	76/62	60	cav	1200	150	1067
Canto	500	4,7	2350	20/20	100	72/57	45	cav	2550	-200	
Guarda-lamas sem ribs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guarda-lamas com ribs	500	5,3	2650	22/22	100	76/62	60	cav	2300	350	
Bonnet 3 ^o inj	550	2,9	1595	21/21	100	45/45	120	cav	1550	45	
Bonnet 5 ^o inj	550	3,2	1760	21/22	100	45/45	120	cav	1700	60	

Frente:



PRODUÇÃO RIM/ RIM PRODUCTION

Nome da peça	frente tecnica	Número do lote	3115216	Peso máximo (g)	488
Número da peça	Mag 003_1	Volume da peça estimado (cm³)	449	Peso mínimo (g)	479
Cliente	magnum cap	Densidade pretendida (g/cm³)	1,03	Volume da peça (cm³)	474
Tipo de processo	not reinforced	Densidade mínima aceite (g/cm³)	1,01		
Tipo de material	1650A/BK	Calculo do peso da peça (g)	463		

Ensaio#	Data	Tempo de Injeção (seg)	Temp. (°C) do material A/B	Pressão da mistura de material (bar)	Saída de material (g/seg) A/B	Taxa de injeção (g/seg)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo	Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	Estado	Comentários	Peso da peça (antes da trimagem) (g)	Diferença de peso (%)	Peso da peça (após trimagem) (g)	Quantidade de flash (g)	% de flash	Calculo da densidade (g/cm³)	Densidade comentário				
1	21/01/2014	1,0	22	22	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	nok	teste	500	0		0,000	Density ok		
2	21/01/2014	1,4	22	22	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	nok	bolhas	600	-0,1667	488	112	18,67%	#REF!	#REF!
3	21/01/2014	1,3	22	22	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	ok		600	-0,0833	488	112	18,67%	#REF!	#REF!

Traseira Alterada:



PRODUÇÃO RIM/ RIM PRODUCTION

Nome da peça	frente tecnica back	Número do lote	3115216	Peso máximo (g)	1 200
Número da peça	Mag003 Back	Volume da peça estimado (cm³)	1009	Peso mínimo (g)	1 177
Cliente	magnum cap	Densidade pretendida (g/cm³)	1,03	Volume da peça (cm³)	1 185
Tipo de processo	not reinforced	Densidade mínima aceite (g/cm³)	1,01		
Tipo de material	1650A/Bk	Calculo do peso da peça (g)	1 040		

Ensaio#	Data	Tempo de Injeção (seg)	Temp. (°C) do material A/B		Pressão da mistura de material (bar)		Saída de material (g/seg) A/B		Taxa de injeção (g/seg)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo		Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	Estado	Comentários	Peso da peça (antes da trimagem) (g)	Diferença de peso (%)	Peso da peça (após trimagem) (g)	Quantidade de flash (g)	% de flash	Calculo da densidade (g/cm³)	Densidade comentário
1	06/05/2014	1,0	22	22	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	nok	teste	500	0				0,000	Density ok
2	06/05/2014	2,4	19	19	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	nok	falta material	1100	-0,0909				#REF!	#REF!
3	06/05/2014	2,8	19	19	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	nok	bolhas	1200	-0,1667				#REF!	#REF!
4	06/05/2014	2,7	19	19	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	ok		1200	1	1067	133	11,08%	#REF!	#REF!
5	06/05/2014	2,7	19	19	100	100	250	250	500	76	62	60	cav	ok		1200	-0,125	1067	133	11,08%	#REF!	#REF!

Canto:

CEIIA

PUSHING MOBILITY.

PRODUÇÃO RIM/ RIM PRODUCTION

Nome da peça		Número do lote	1419216		Peso máximo (g)	2 550	
Número da peça		Volume da peça estimado (cm3)	2330		Peso mínimo (g)	2 500	
Cliente	following project	Densidade pretendida (g/cm³)	1,03		Volume da peça (cm³)	2 476	
Tipo de processo	not reinforced	Densidade mínima aceite (g/cm3)	1,01				
Tipo de material	Telene 1650a/bk	Calculo do peso da peça (g)	2 400				

Ensaio#	Data	Tempo de Injeção (seg)	Temp. (°C) do material A/B	Pressão da mistura de material (bar)	Saída de material (g/seg) A/B	Taxa de injeção (g/seg)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo	Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	Estado	Comentários	Peso da peça (antes da trimagem) (g)	Diferença de peso (%)	Peso da peça (após trimagem) (g)	Quantidade de flash (g)	% de flash	Calculo da densidade (g/cm³)	Densidade comentário	Ações para a próxima injeção	
1	18/06/2014	4,7	20	20	100	100	250	250	500	72	57	45	cav	ok		2550				
2	18/06/2014									nok	baixa temperatura									
3	18/06/2014									nok	falta inserto									
4	18/06/2014									nok	baixa temperatura									
5	18/06/2014									nok	baixa temperatura									
6	19/06/2014									nok	baixa temperatura									

Guarda-lamas com ribs:

CEIIA

PUSHING MOBILITY.

PRODUÇÃO RIM/ RIM PRODUCTION

Nome da peça	front fender	Número do lote		Peso máximo (g)	
Número da peça		Volume da peça estimado (cm3)		Peso mínimo (g)	
Cliente		Densidade pretendida (g/cm³)		Volume da peça (cm³)	
Tipo de processo		Densidade mínima aceite (g/cm3)			
Tipo de material		Calculo do peso da peça (g)			

Ensaio#	Data	Tempo de Injeção (seg)	Temp. (°C) do material A/B	Pressão da mistura de material (bar)	Saída de material (g/seg) A/B	Taxa de injeção (g/seg)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo	Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	Estado	Comentários	Peso da peça (antes da trimagem) (g)	Diferença de peso (%)	Peso da peça (após trimagem) (g)	Quantidade de flash (g)	% de flash	Calculo da densidade (g/cm³)	Densidade comentário
1	27/01/2014	1,0	22 22	100 100	250 250	500	76 62	60	cav	nok	teste	500	0				#DIV/0!	#DIV/0!
		3,3				0				nok		1500	1				#REF!	#REF!
		5,0				0				nok		2250	1				#REF!	#REF!
		5,0				0				nok		2250	1				#REF!	#REF!
		5,3				0				ok		2300	1				#REF!	#REF!

Bonnet:

CEIIA

PUSHING MOBILITY.

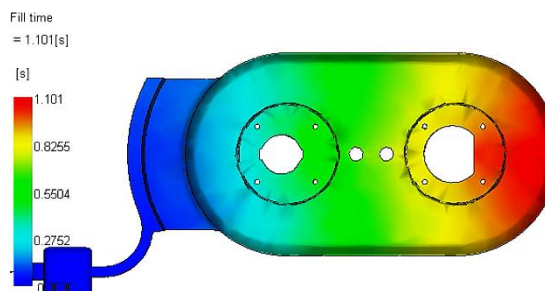
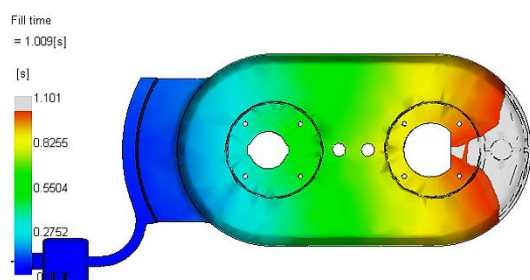
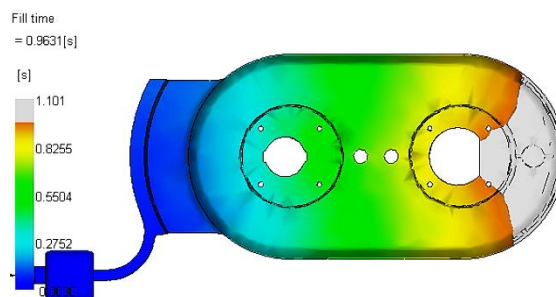
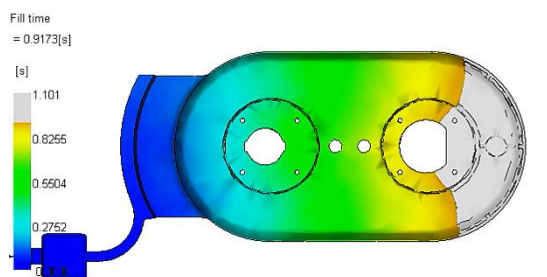
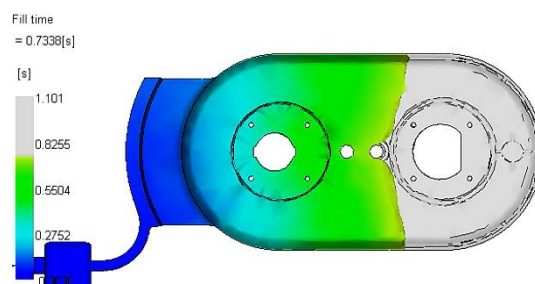
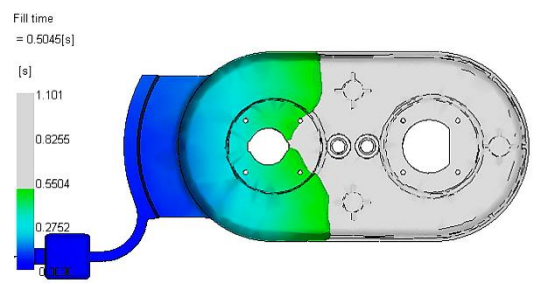
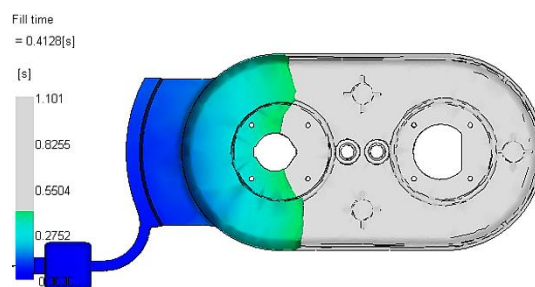
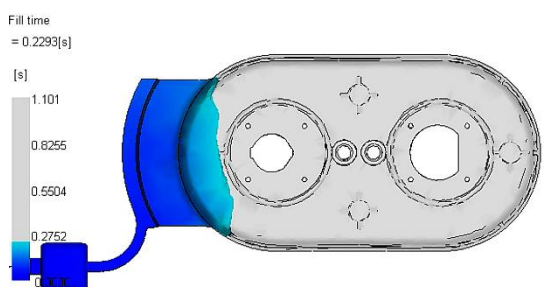
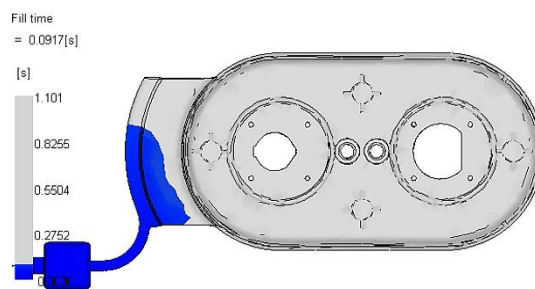
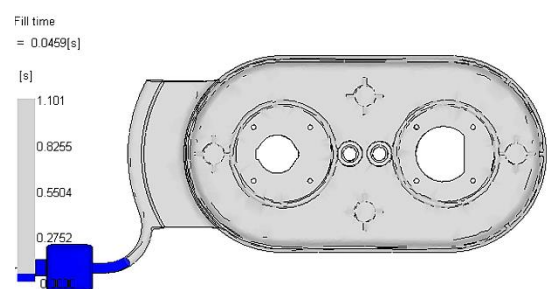
PRODUÇÃO RIM/ RIM PRODUCTION

Nome da peça	Bonnet/ be	Número do lote		Peso máximo (g)	
Número da peça		Volume da peça estimado (cm3)	1493	Peso mínimo (g)	
Cliente		Densidade pretendida (g/cm³)	1,03	Volume da peça (cm³)	1 493
Tipo de processo	not reinforced	Densidade mínima aceite (g/cm3)	1,01		
Tipo de material	1650 a/bk	Calculo do peso da peça (g)	1 450		

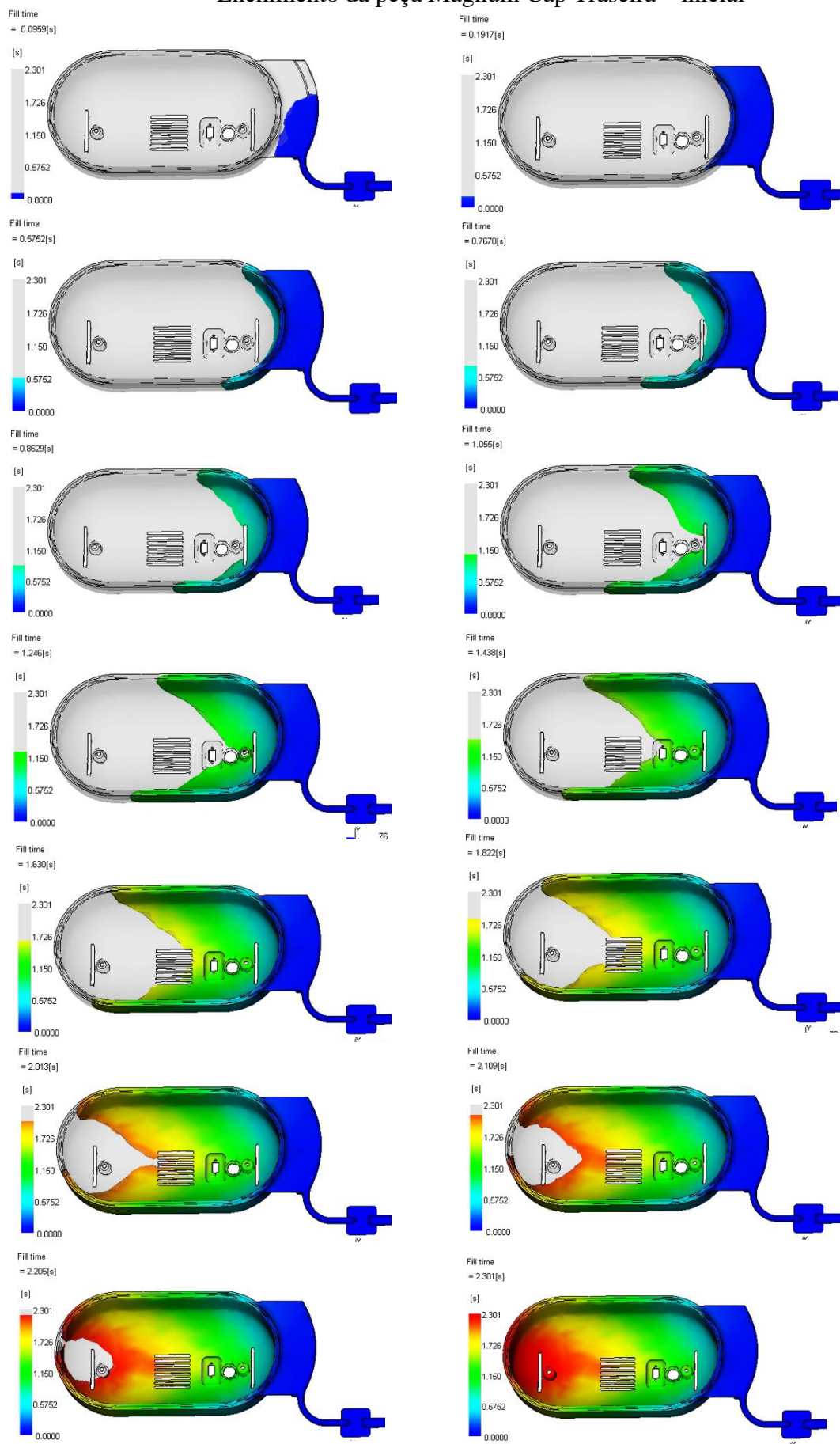
Ensaio#	Data	Tempo de Injeção (seg)	Temp. (°C) do material A/B	Pressão da mistura de material (bar)	Saída de material (g/seg) A/B	Taxa de injeção (g/seg)	Temperatura do molde (°C) Cavidade / Núcleo	Tempo de cura (seg)	Local onde a peça fica	Estado	Comentários	Peso da peça (antes da trimagem) (g)	Diferença de peso (%)	Peso da peça (após trimagem) (g)	Quantidade de flash (g)	% de flash	Calculo da densidade (g/cm³)	Densidade comentário
1	16/05/2014	1,0	21 21	100 100	275 275	550	45 45	120	cav	nok	teste	550	0				0,000	Density ok
2	16/05/2014	2,8	21 21	100 100	275 275	550	45 45	120	cav	nok	falta material	1350	-0,1407				#REF!	#REF!
3	16/05/2014	3,2	21 21	100 100	275 275	550	45 45	75	cav	ok		1700	-0,0353				#REF!	#REF!

ANEXO AA: Relatórios das simulações

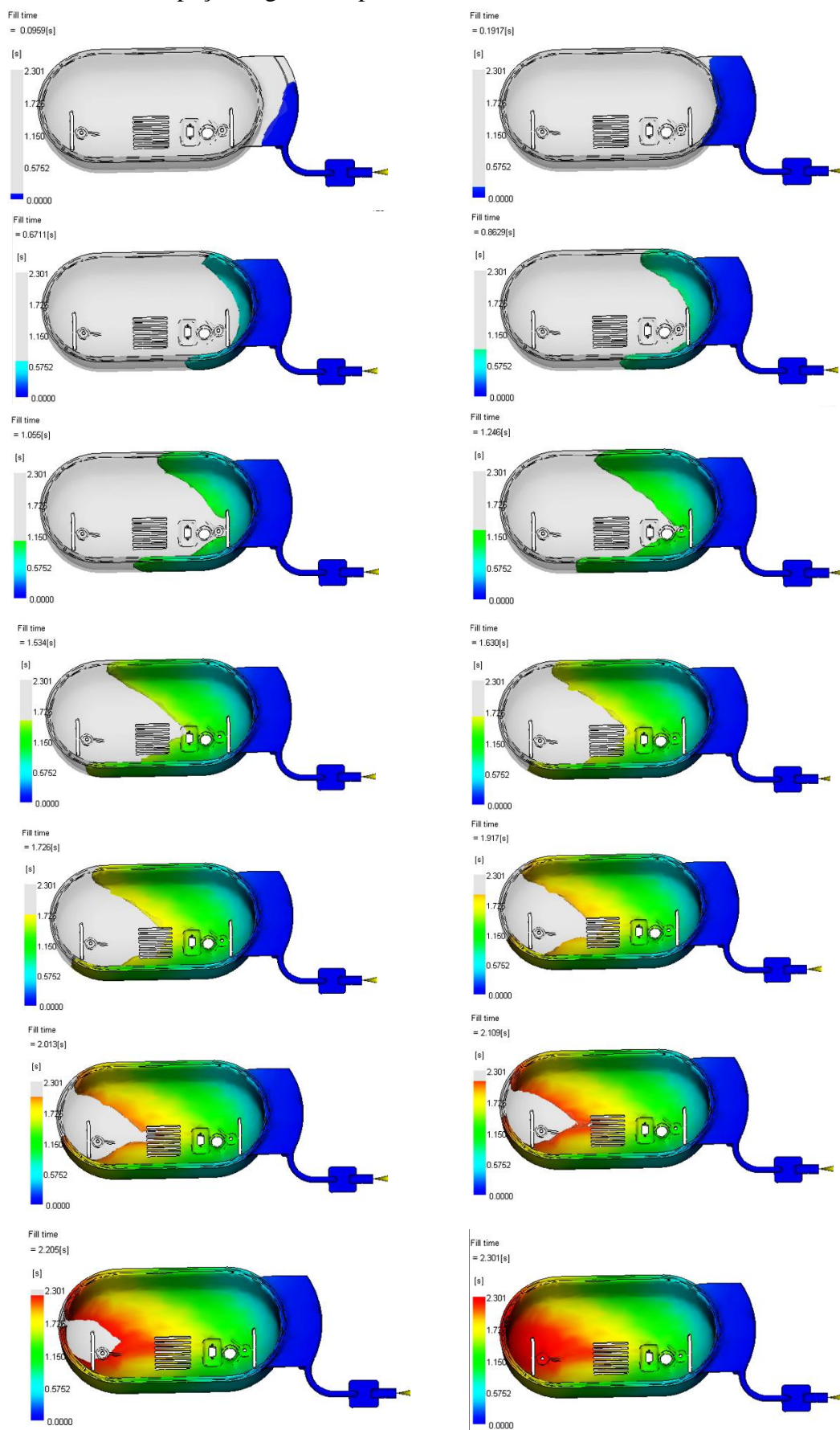
Enchimento da peça Magnum Cap Frente:



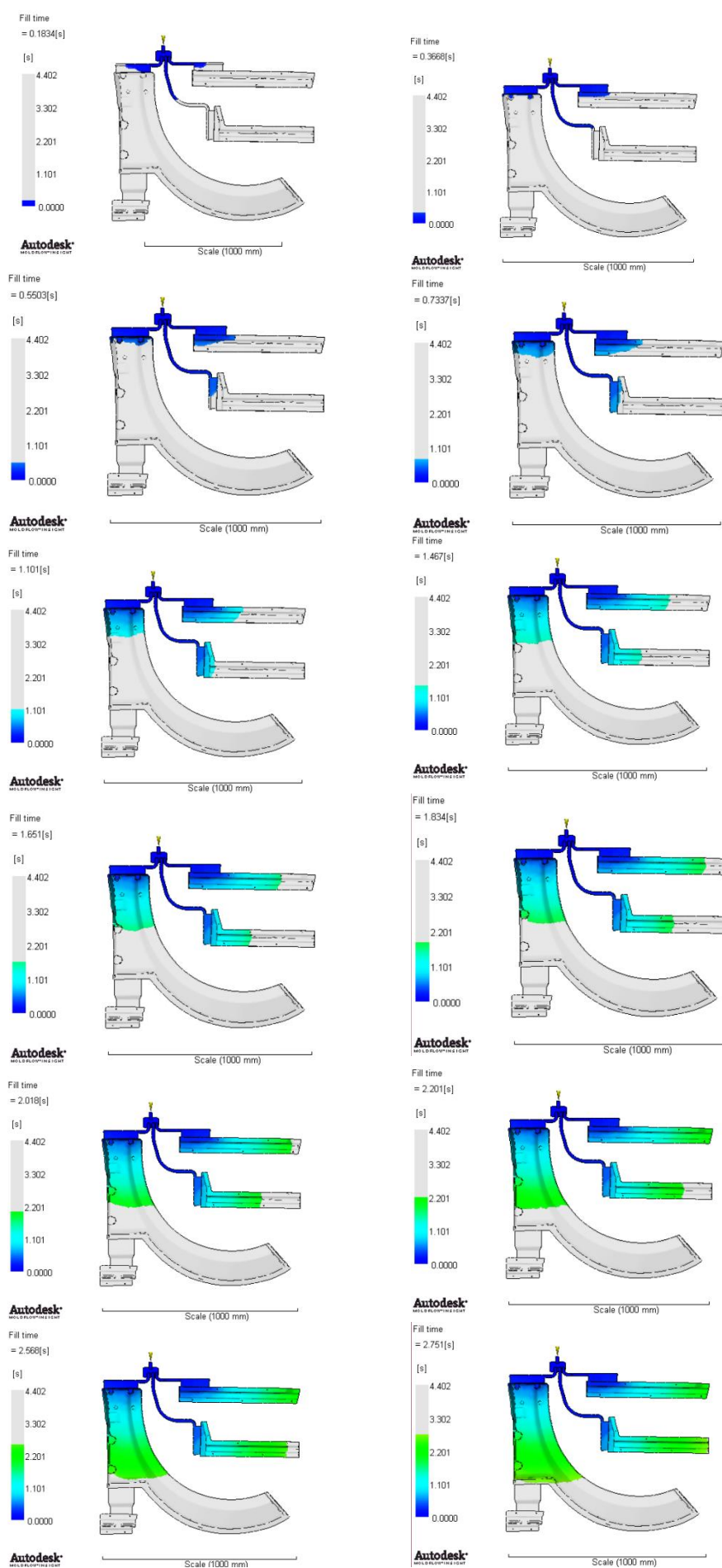
Enchimento da peça Magnum Cap Traseira – inicial

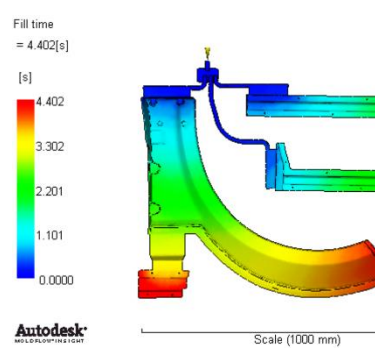
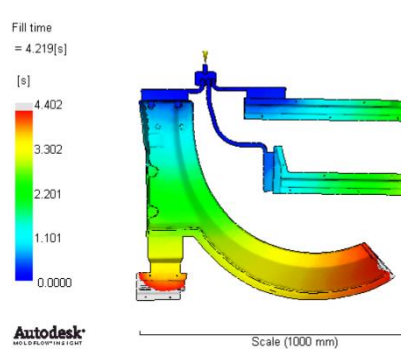
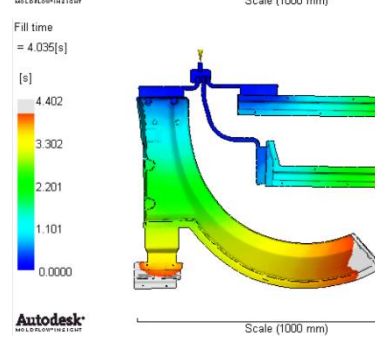
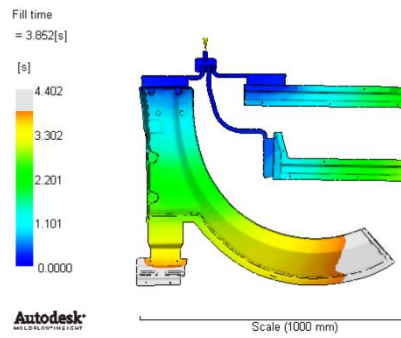
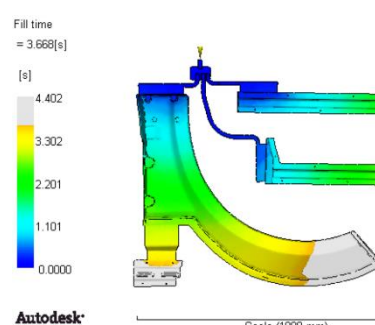
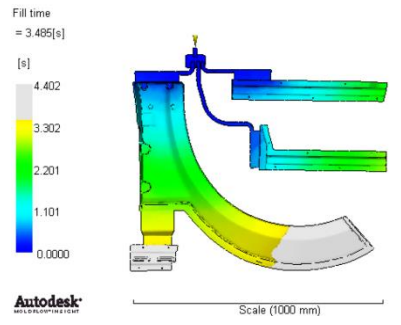
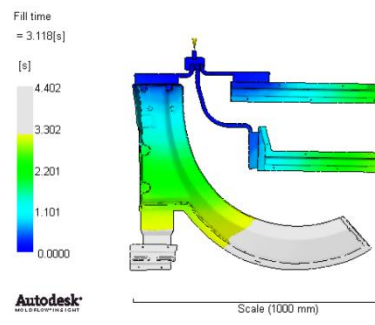
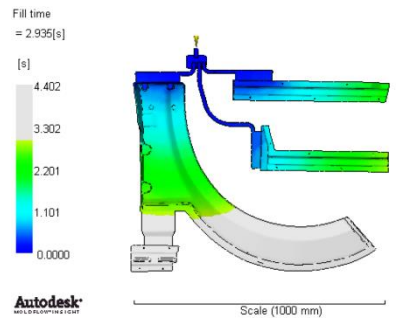


Enchimento da peça Magnum Cap Traseira - alterada

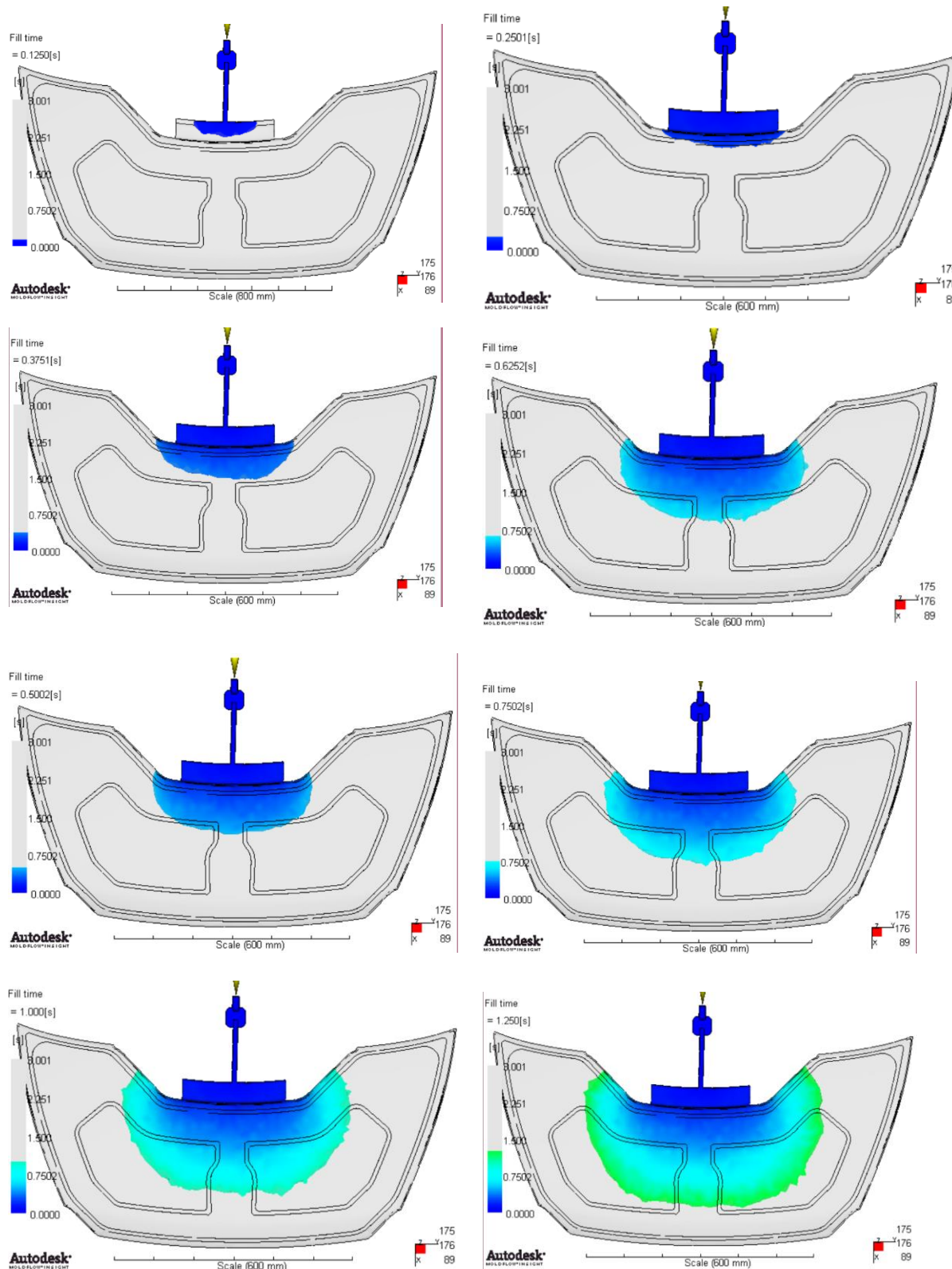


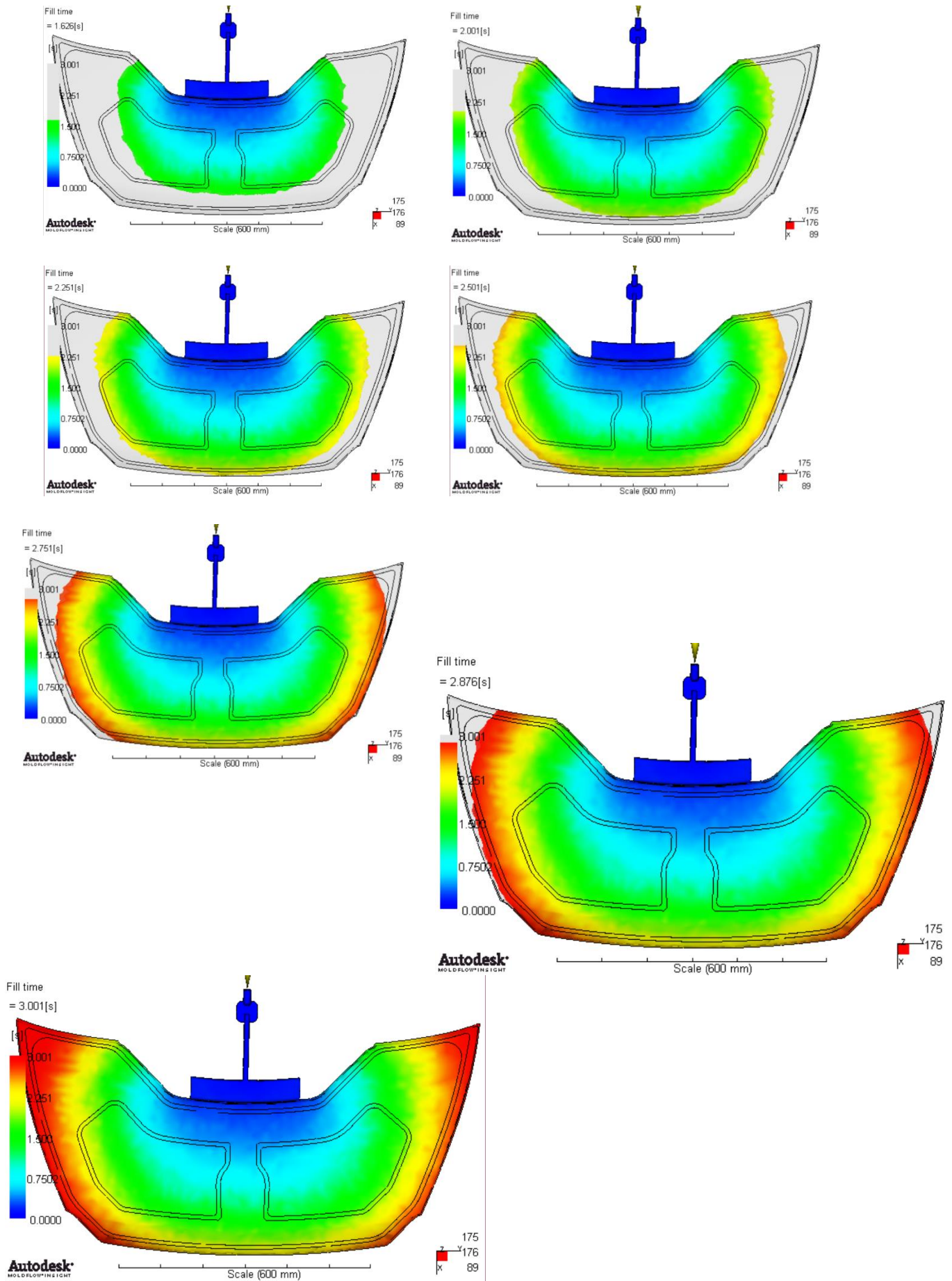
Enchimento das peças técnicas e Guarda-lamas





Enchimento da peça Bonnet





ANEXO AB: Relatórios de comparação das sobreposições de peças

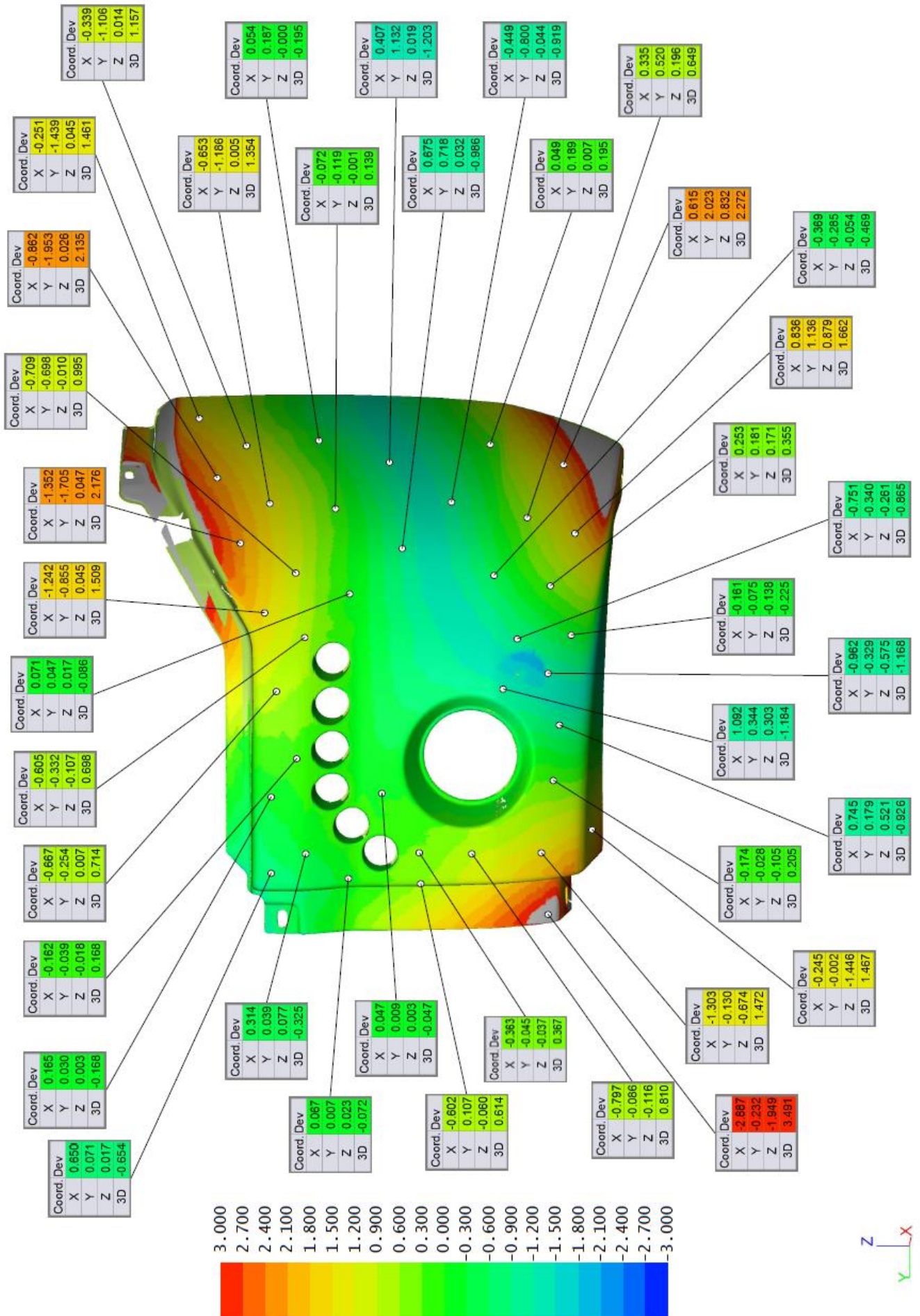
Peça Canto:

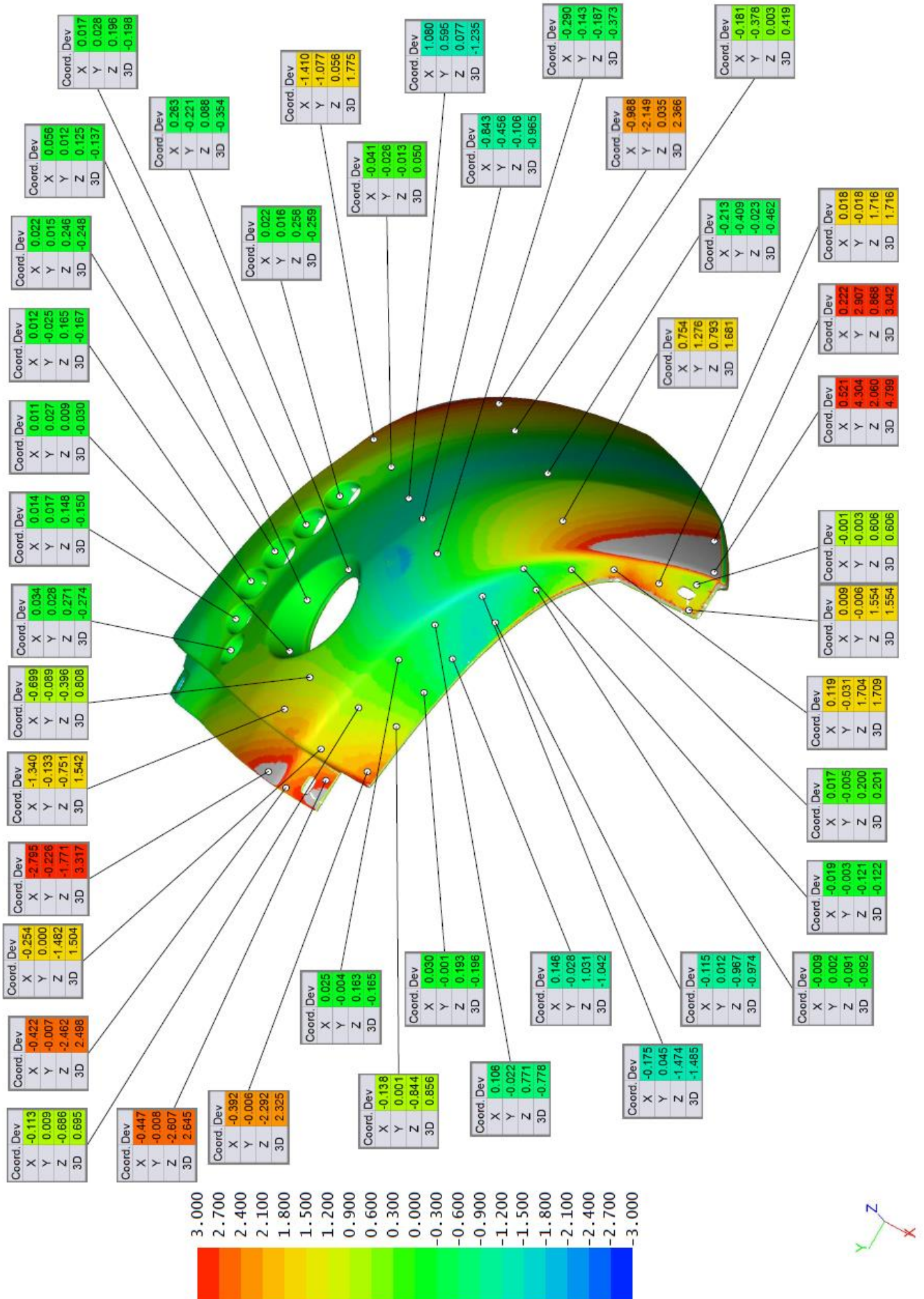
Uma vez que não existia nenhum JIG de posicionamento para a peça, foi necessário criar algo que permitisse colocar a peça e mantê-la nessa mesma posição, uma vez que é uma peça flexível. Começou-se por pendurar a peça por dois fios presos nas duas extremidades com furos, mais um suporte encostado no fundo da peça, por forma a estabilizá-la.

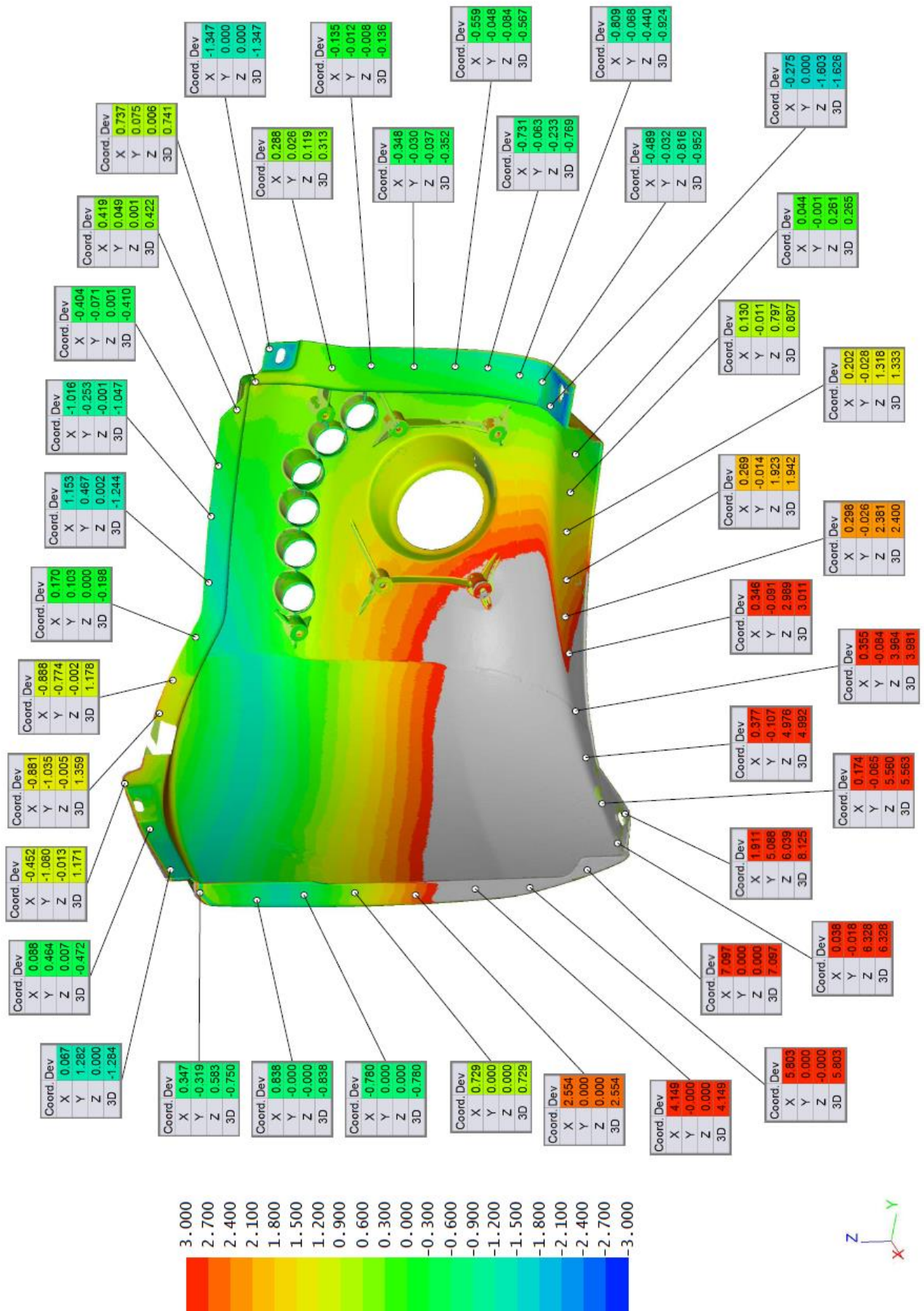
Foram tiradas aproximadamente 60 *snapshots* (imagens) em redor da peça, para conseguir digitalizar a peça na sua totalidade. Houve algumas superfícies que não ficaram totalmente preenchidas devido à posição da peça, impedindo a digitalização de algumas áreas, nomeadamente zonas de grande profundidade ou zonas onde houvesse sombras.

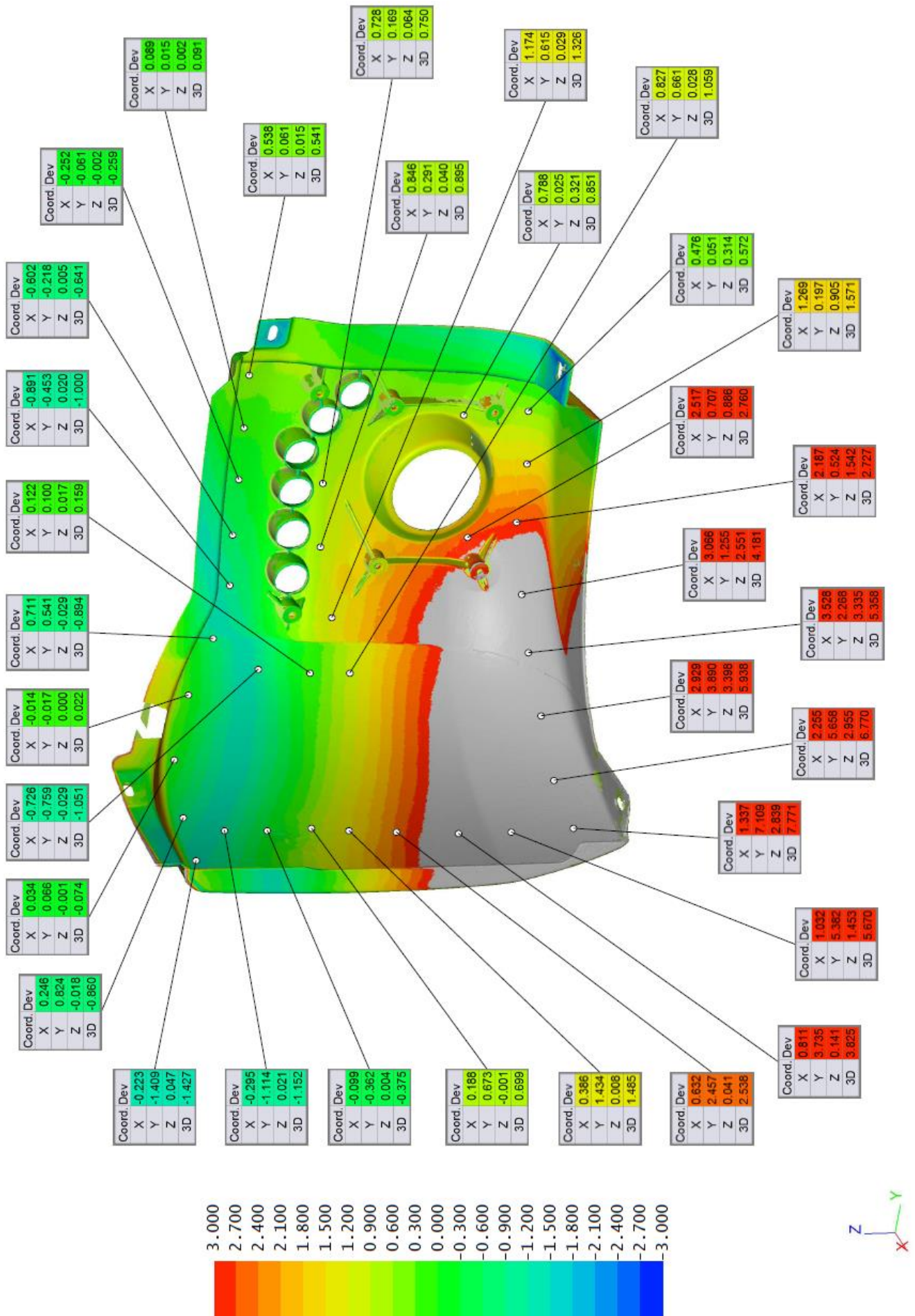


Equipamento de digitalização, COMET L3D e peça Canto.

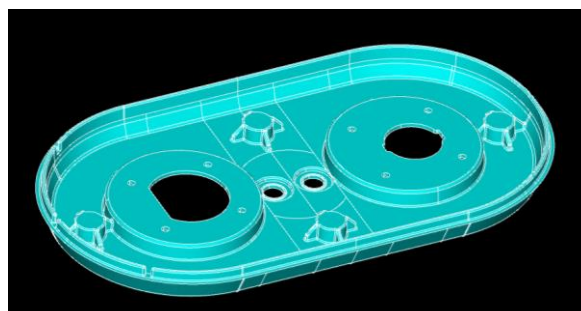
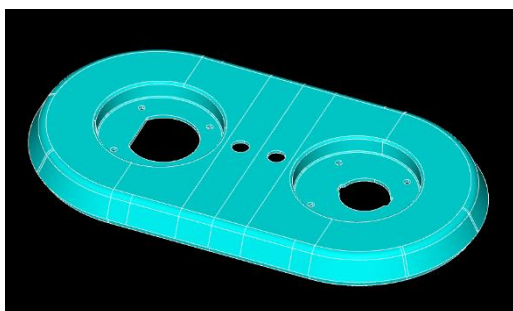




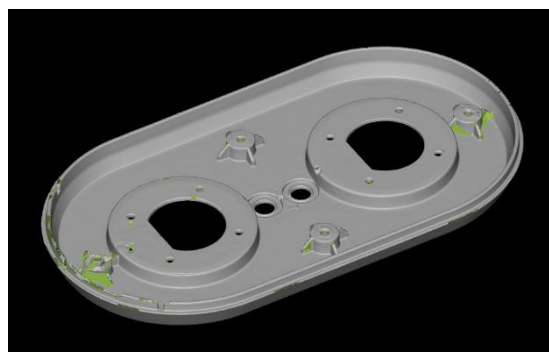
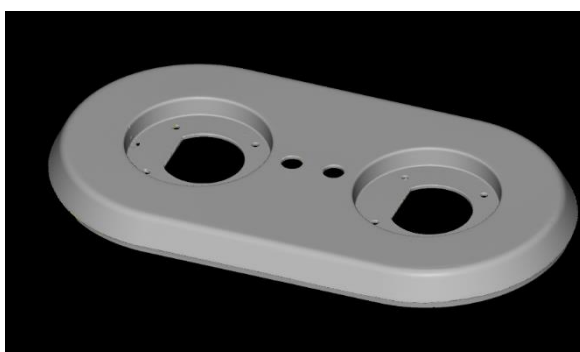




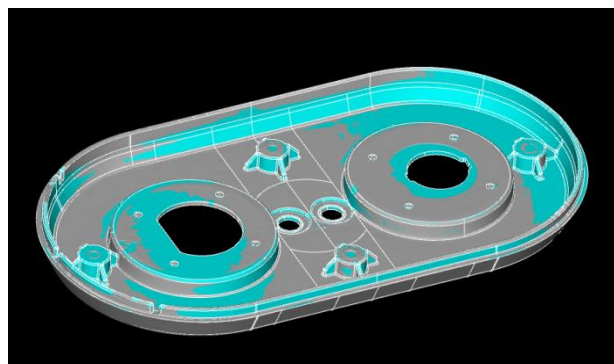
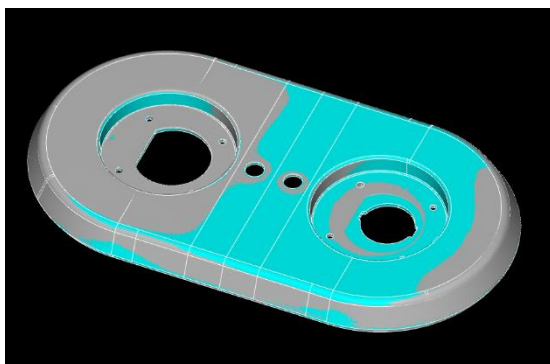
Peça Magnum Cap frente mais antiga:



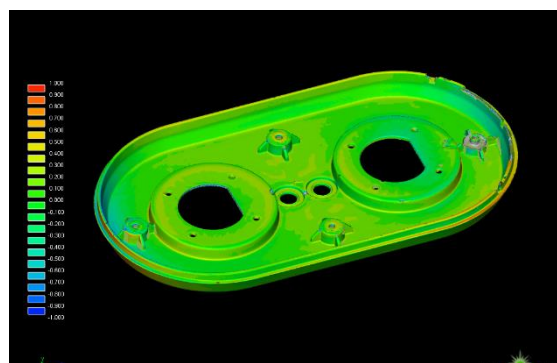
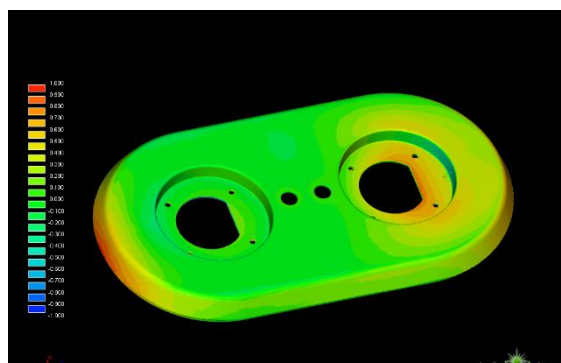
Duas posições do cad.



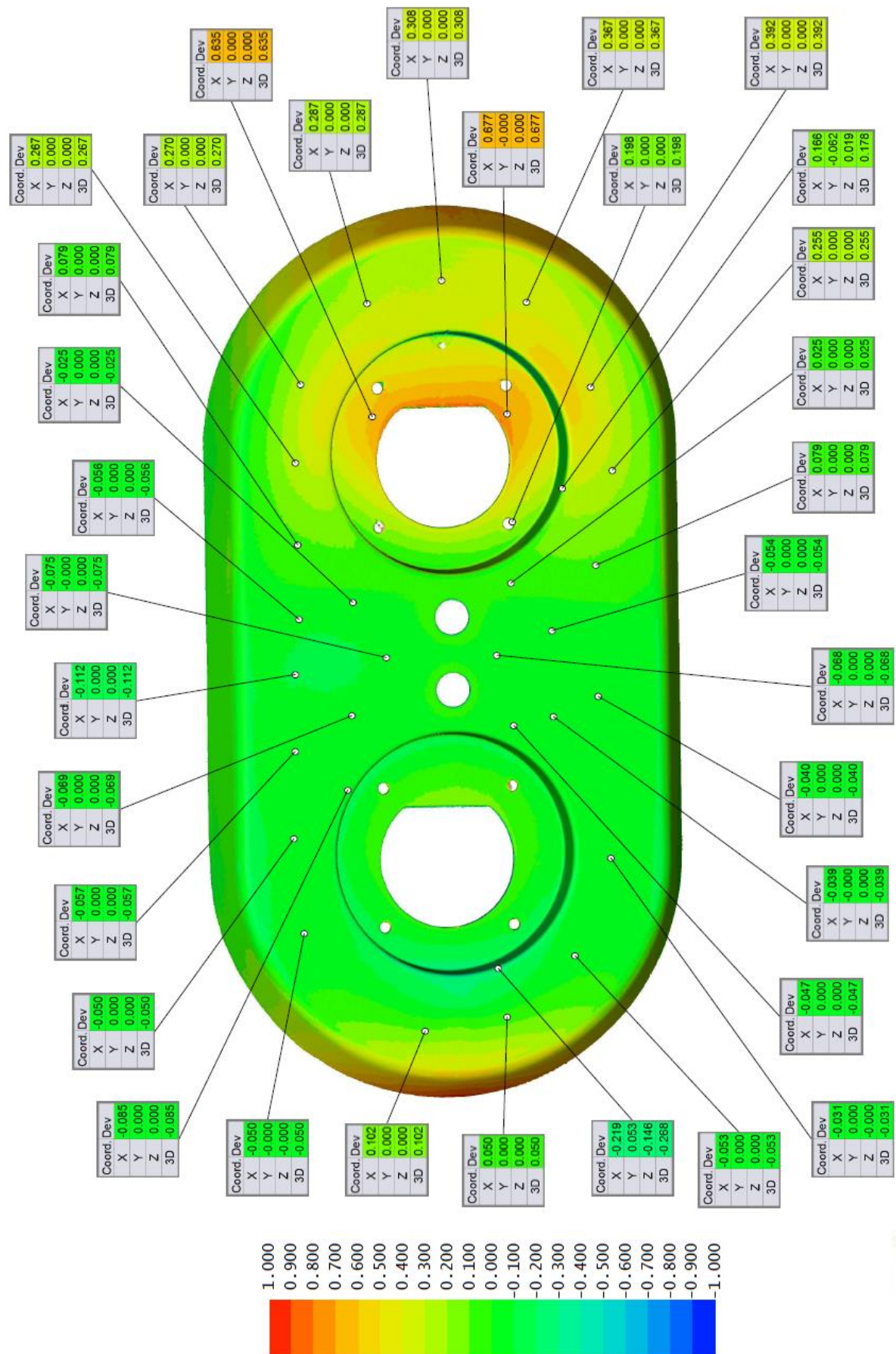
Duas posições do stl da peça frente digitalizada.

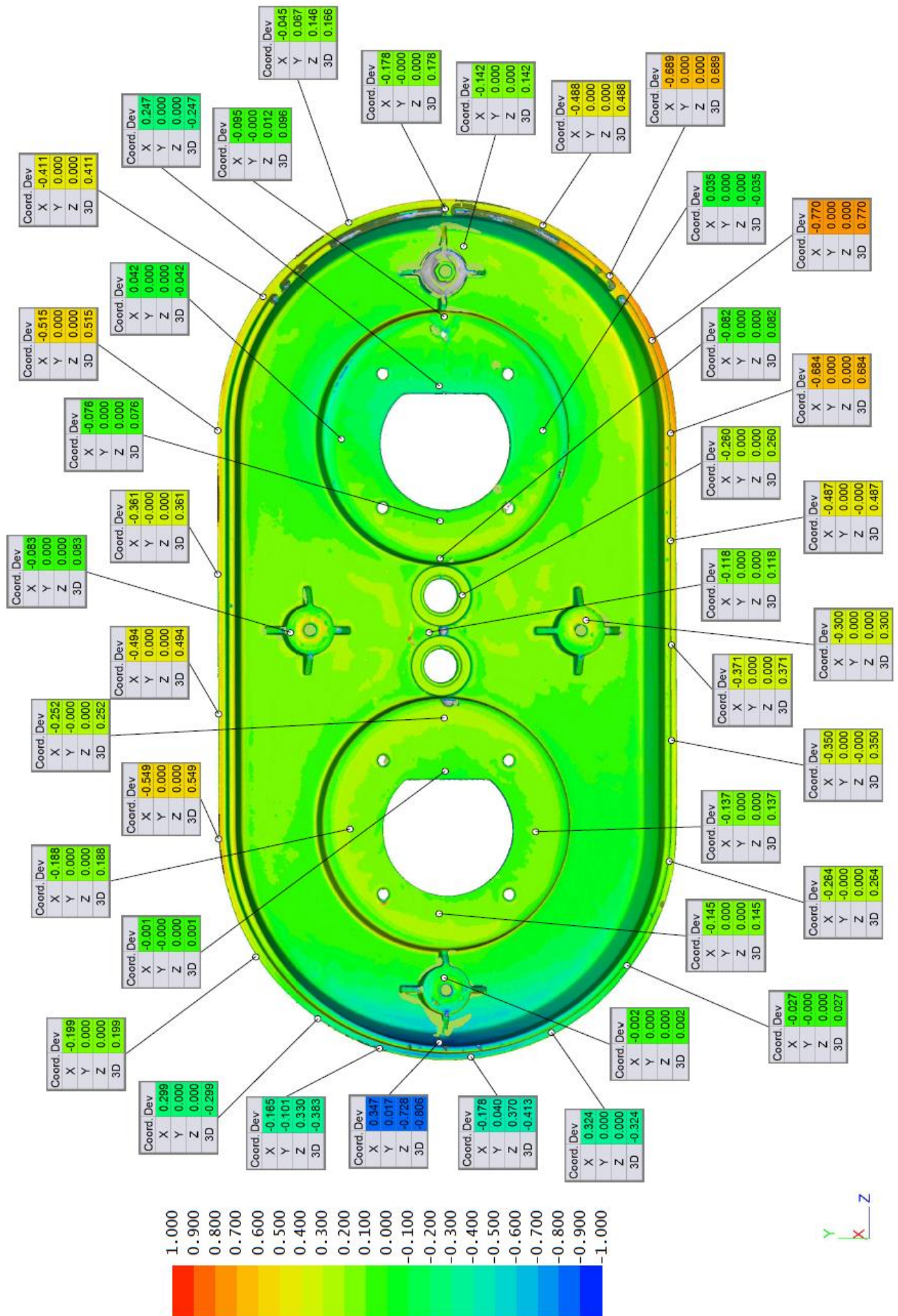


Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.

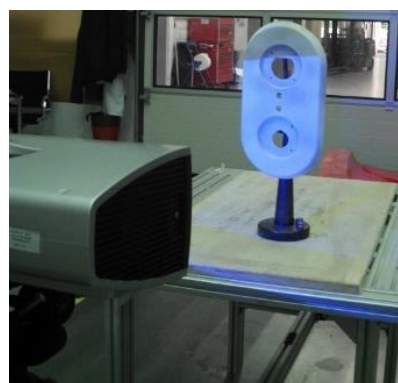


Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

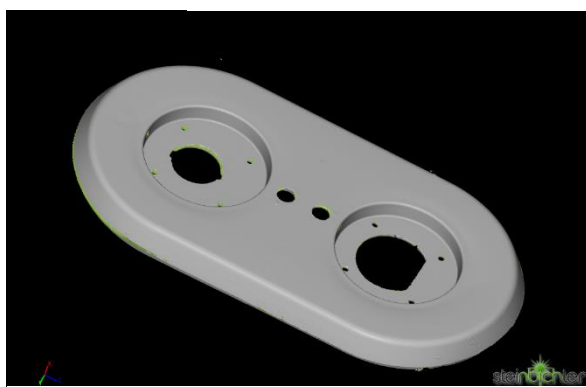




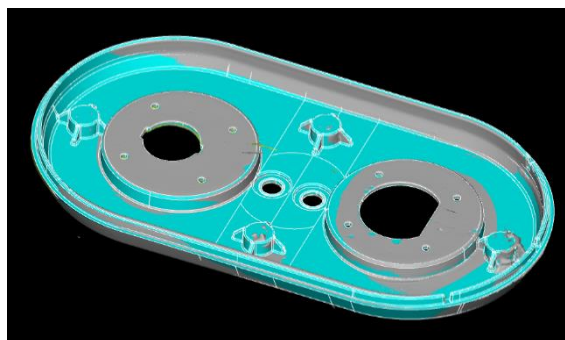
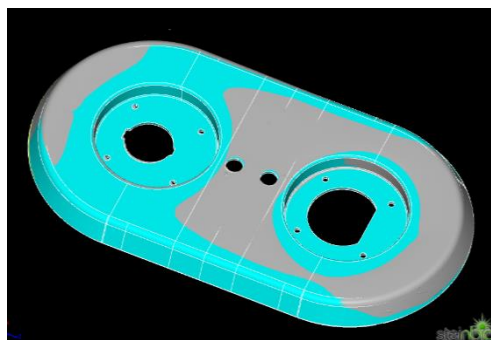
Peça Magnum Cap frente mais recente



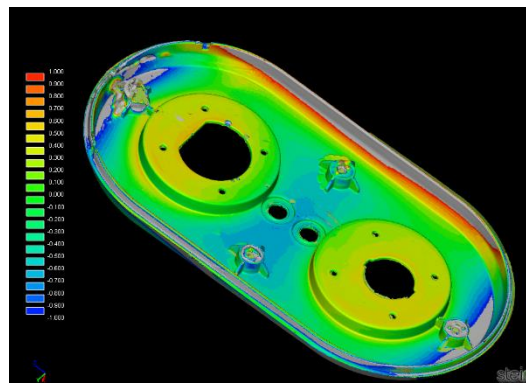
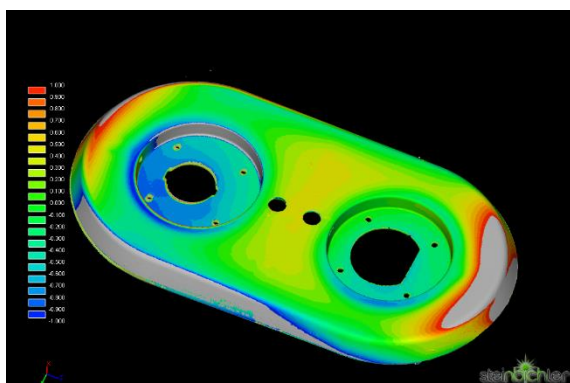
Digitalização da Peça Magnum Cap Frente.



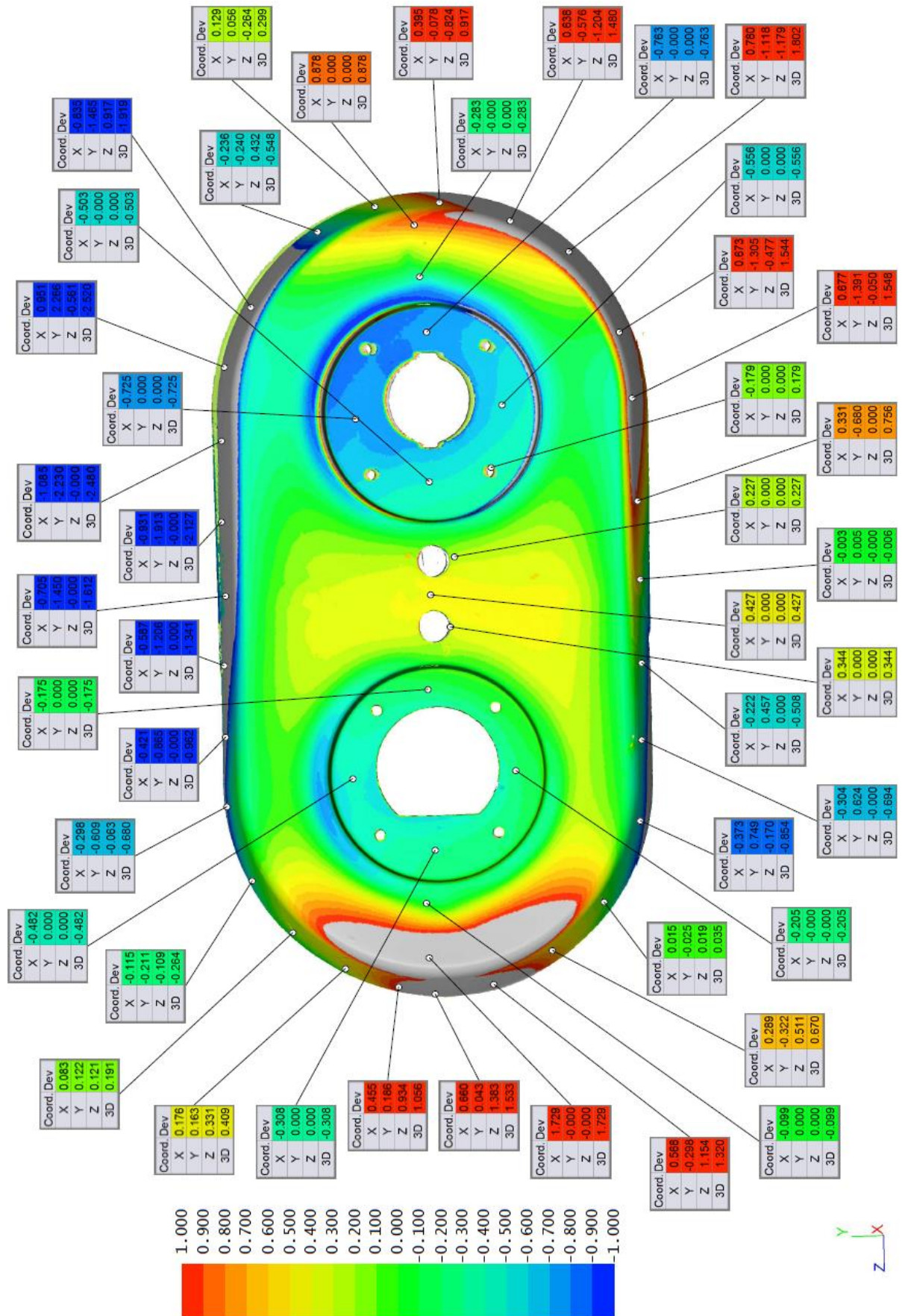
Duas posições do stl da peça frente.

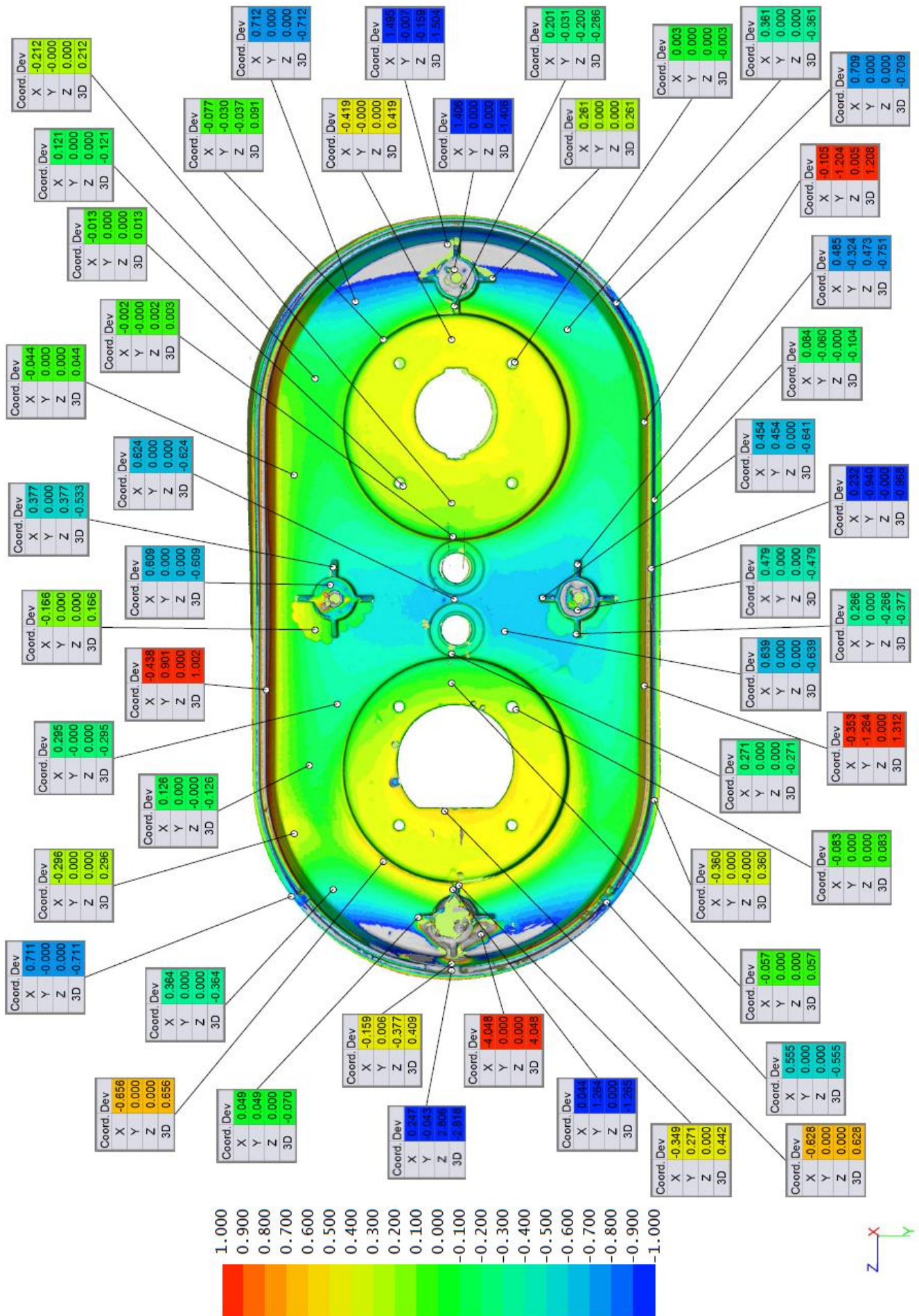


Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.

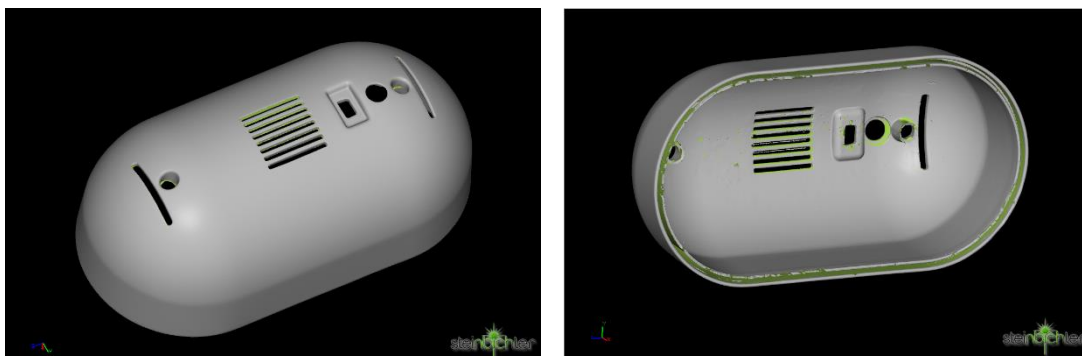


Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

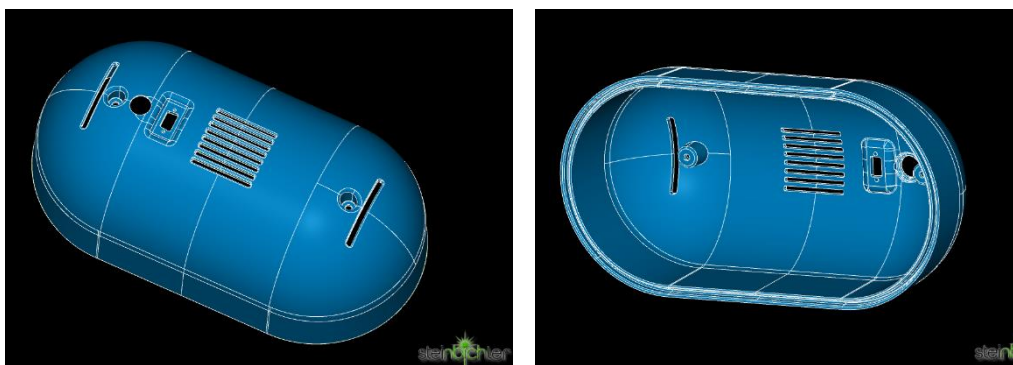




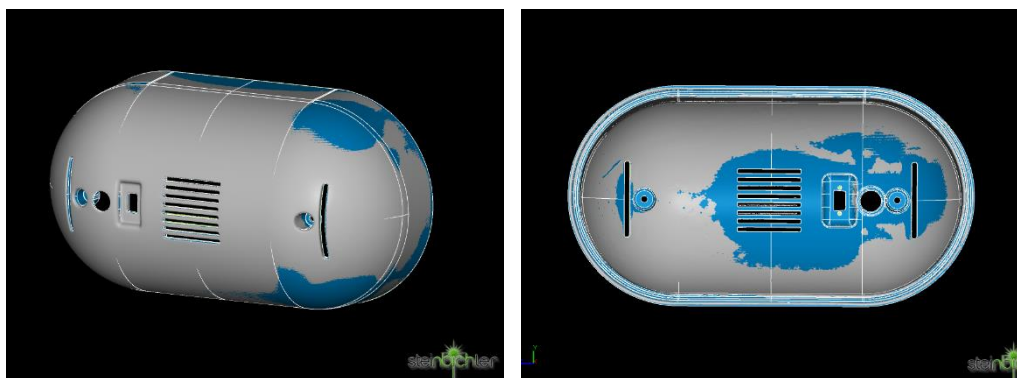
Peça Magnum Cap Traseira – Inicial



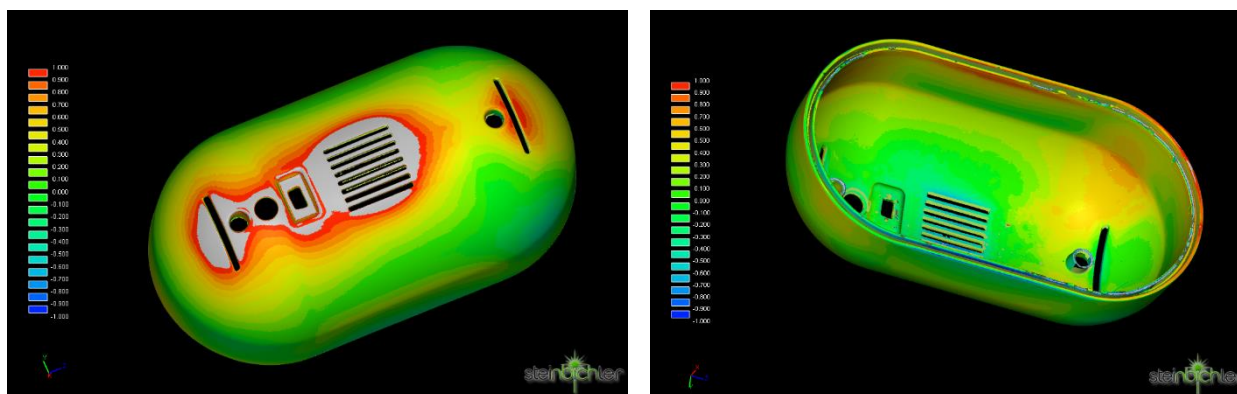
Duas posições do stl da peça digitalizada.



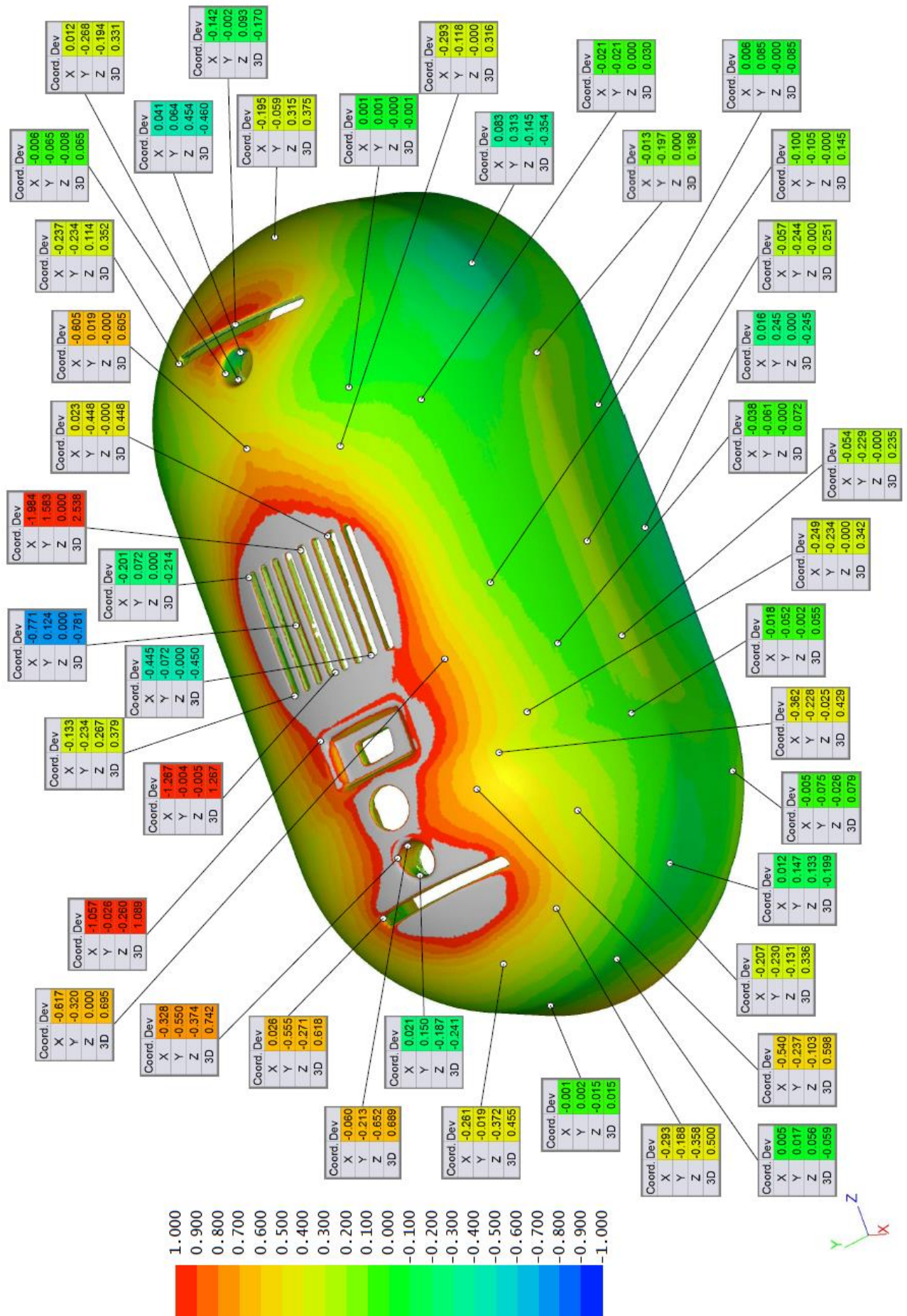
Duas posições do cad da peça.

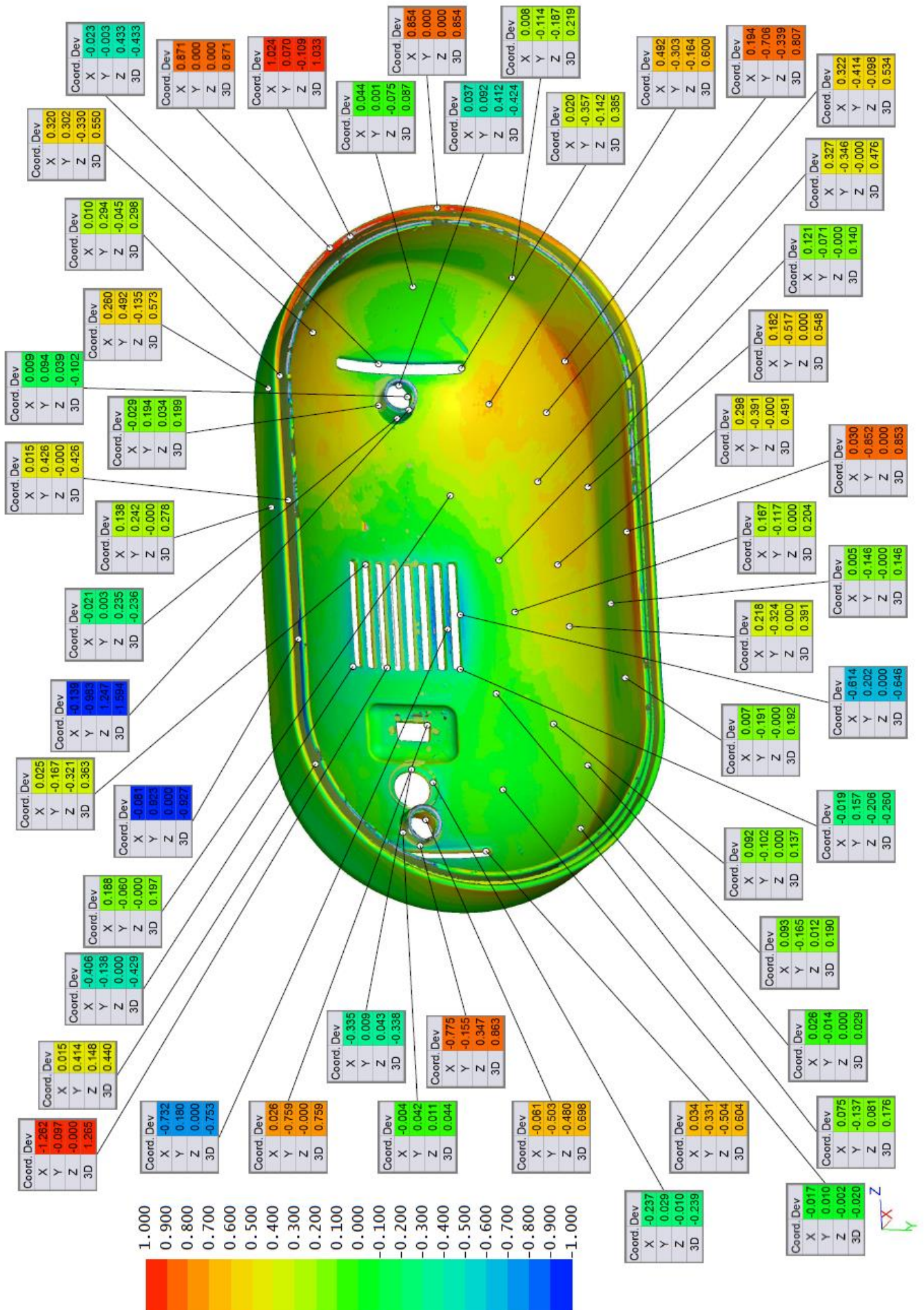


Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.

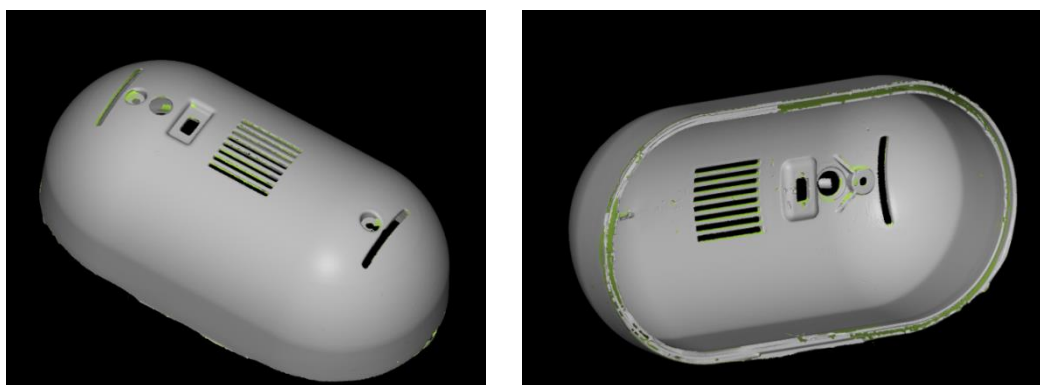


Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.

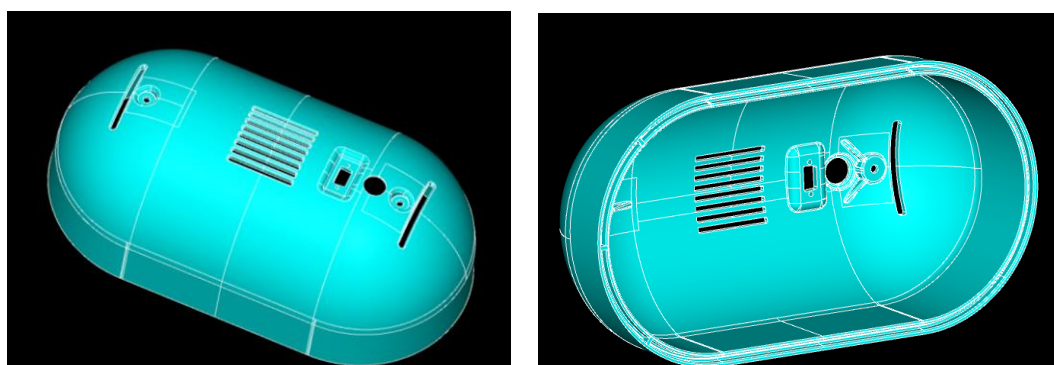




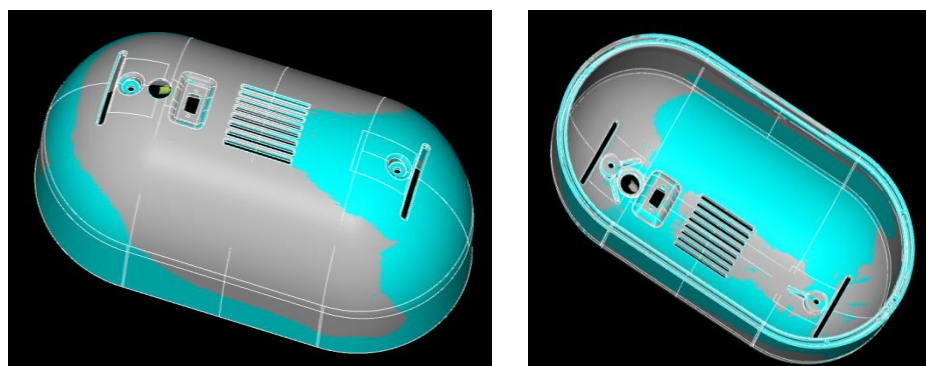
Peça Magnum Cap Traseira – Alteração



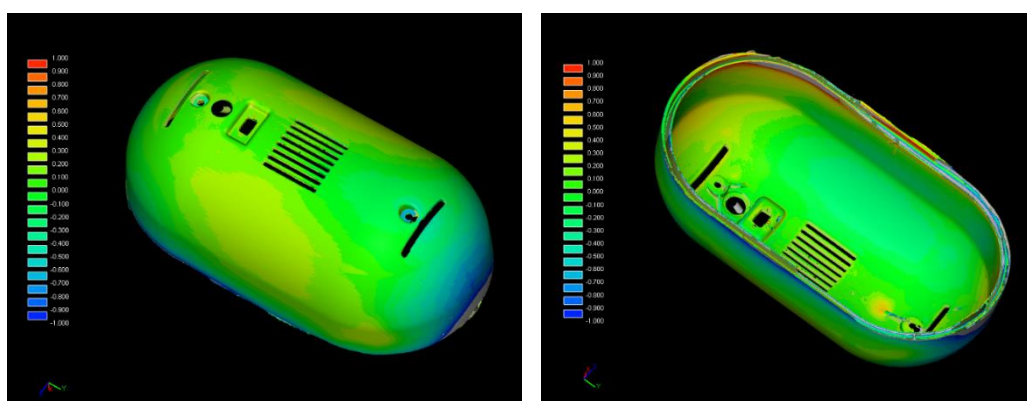
Duas posições do stl da peça canto digitalizada.



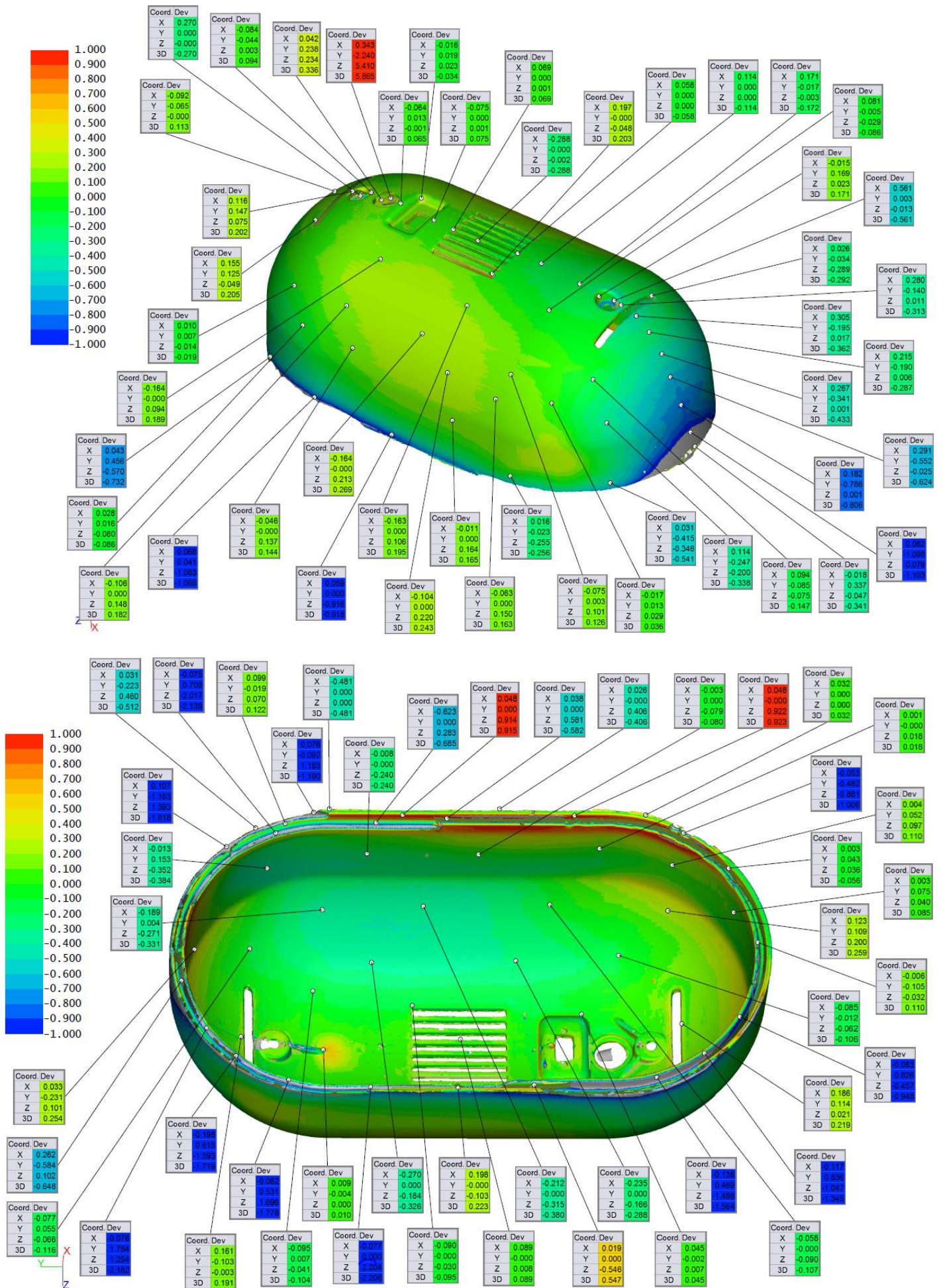
Duas posições do cad da peça.

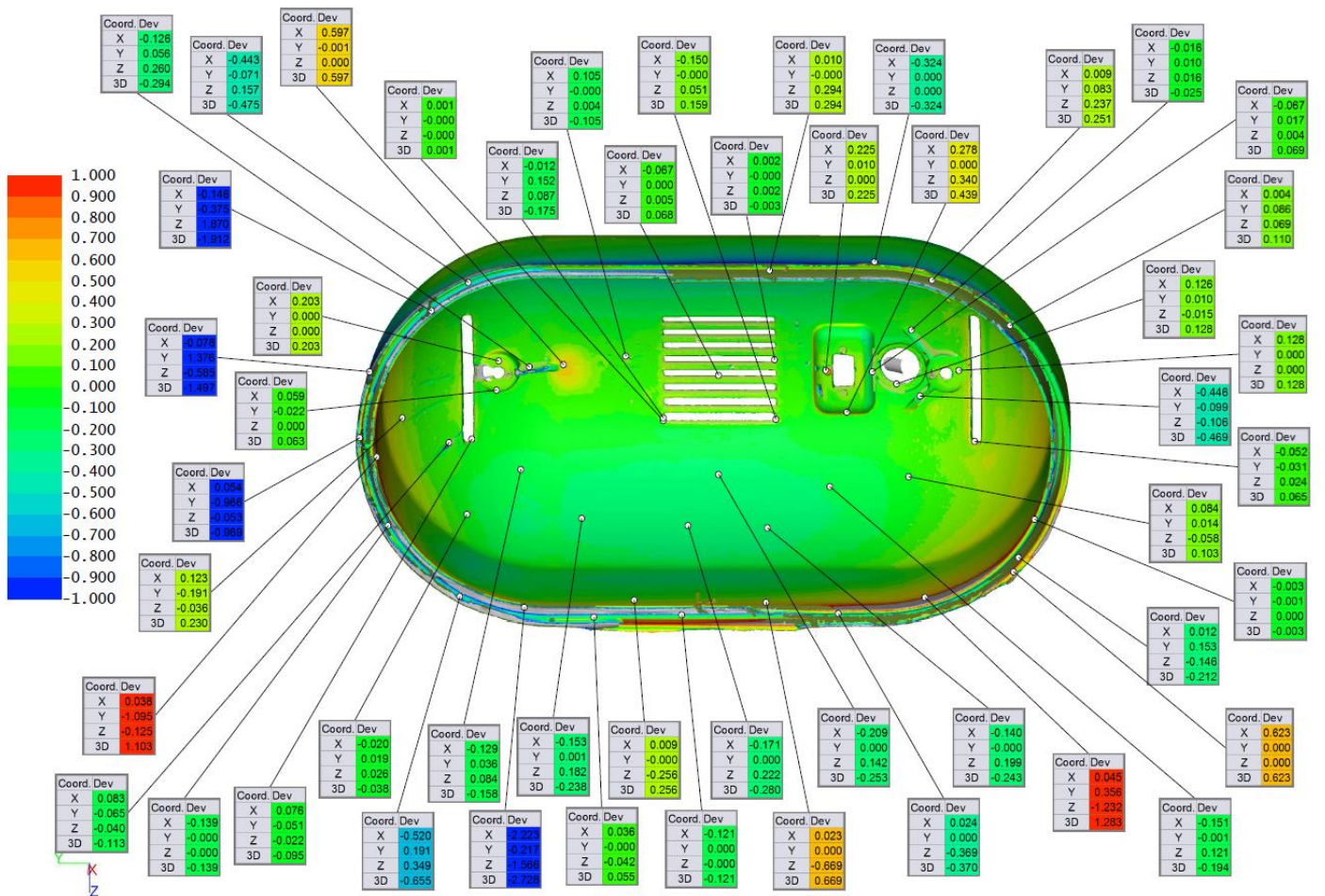
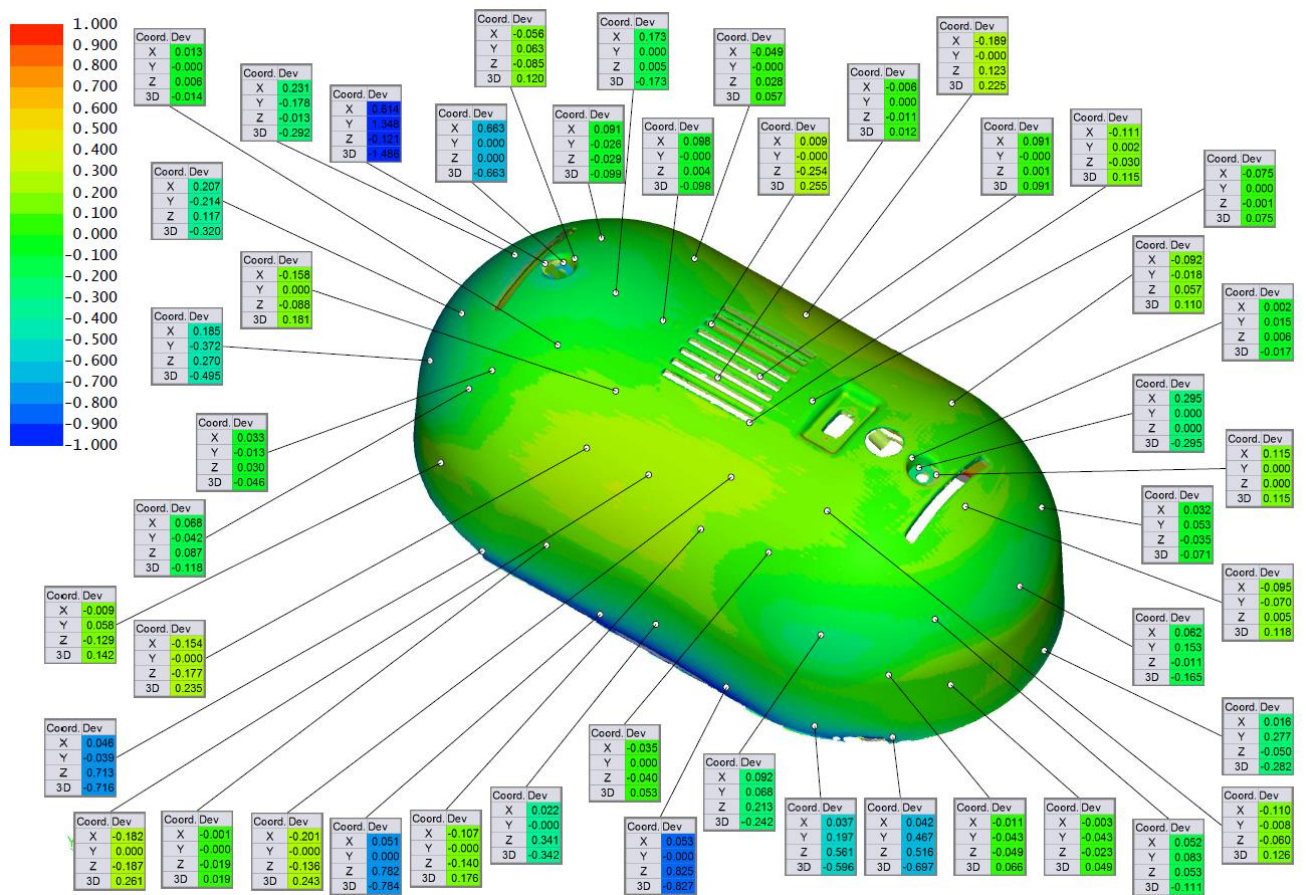


Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.



Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -1 e 1 mm.



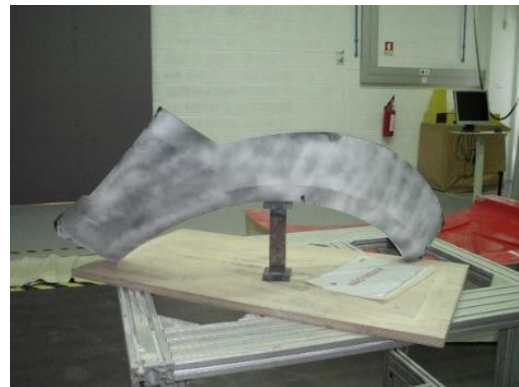
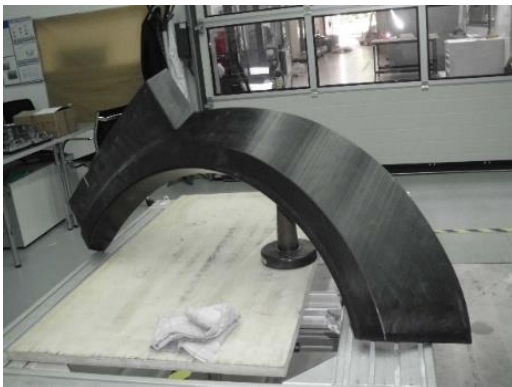


Peça Guarda-lamas sem ribs

No caso das peças do Guarda-lamas, foi usado o equipamento T-SCAN 2, e o *software* T-SCANplus. Para que a digitalização seja mais eficaz cobriu-se a peça com um *spray* branco:

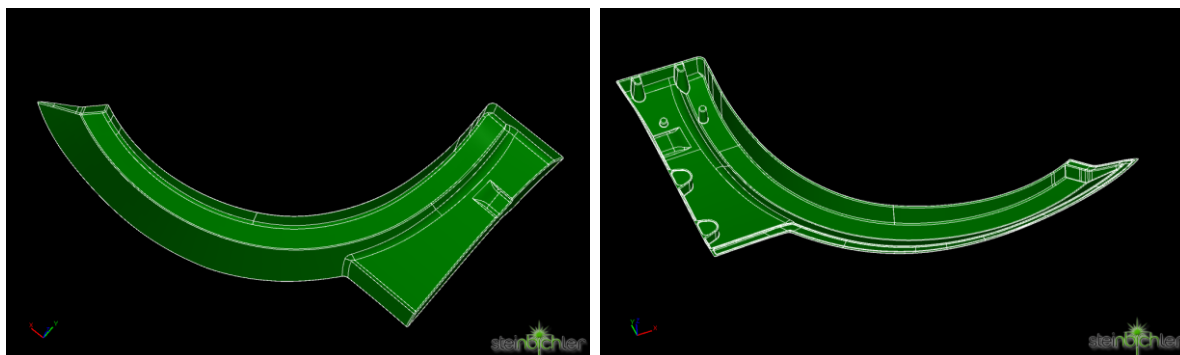


Equipamento T-SCAN 2 de digitalização.

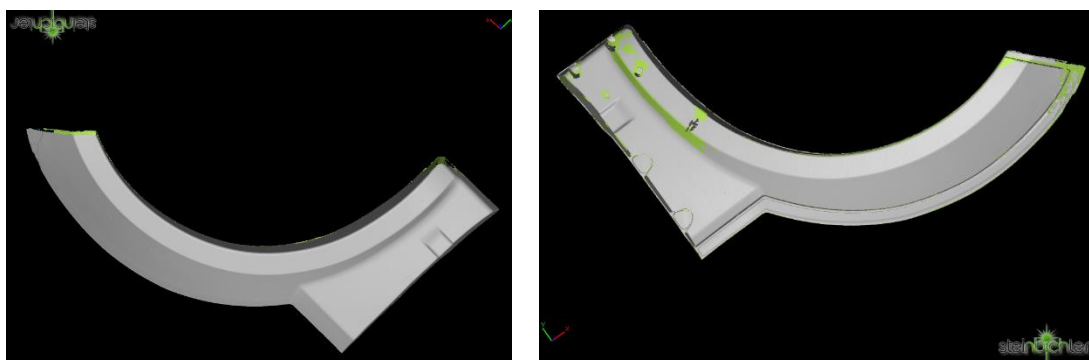


Digitalização da peça Guarda-lamas.

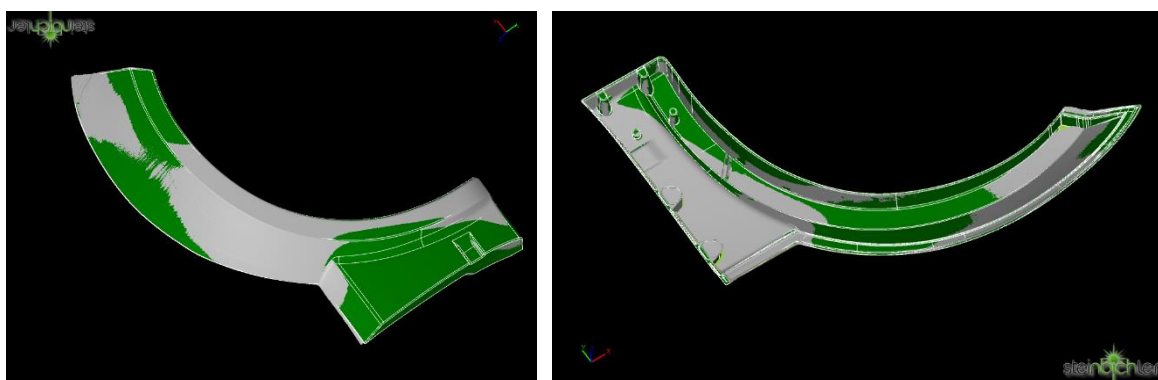
A sobreposição e análise, foi na mesma com o INSPECTplus, tal como a avaliação das espessuras foi com o Rapid form 2006.



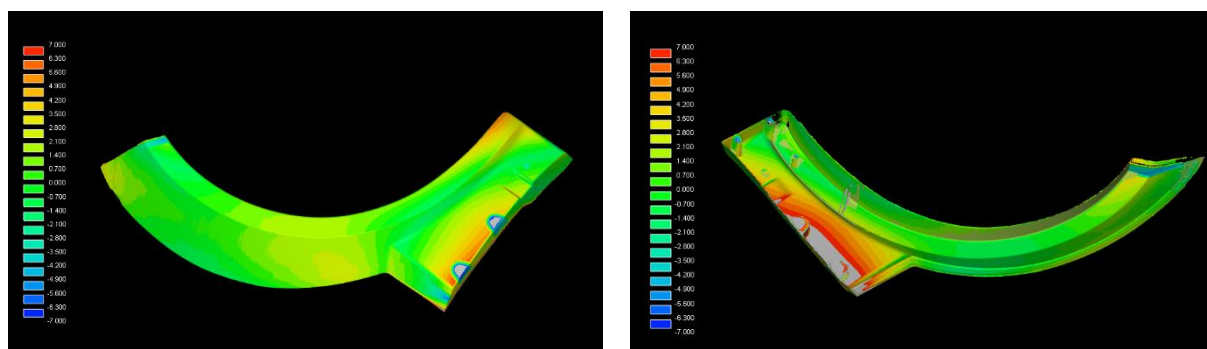
Duas posições do cad da peça.



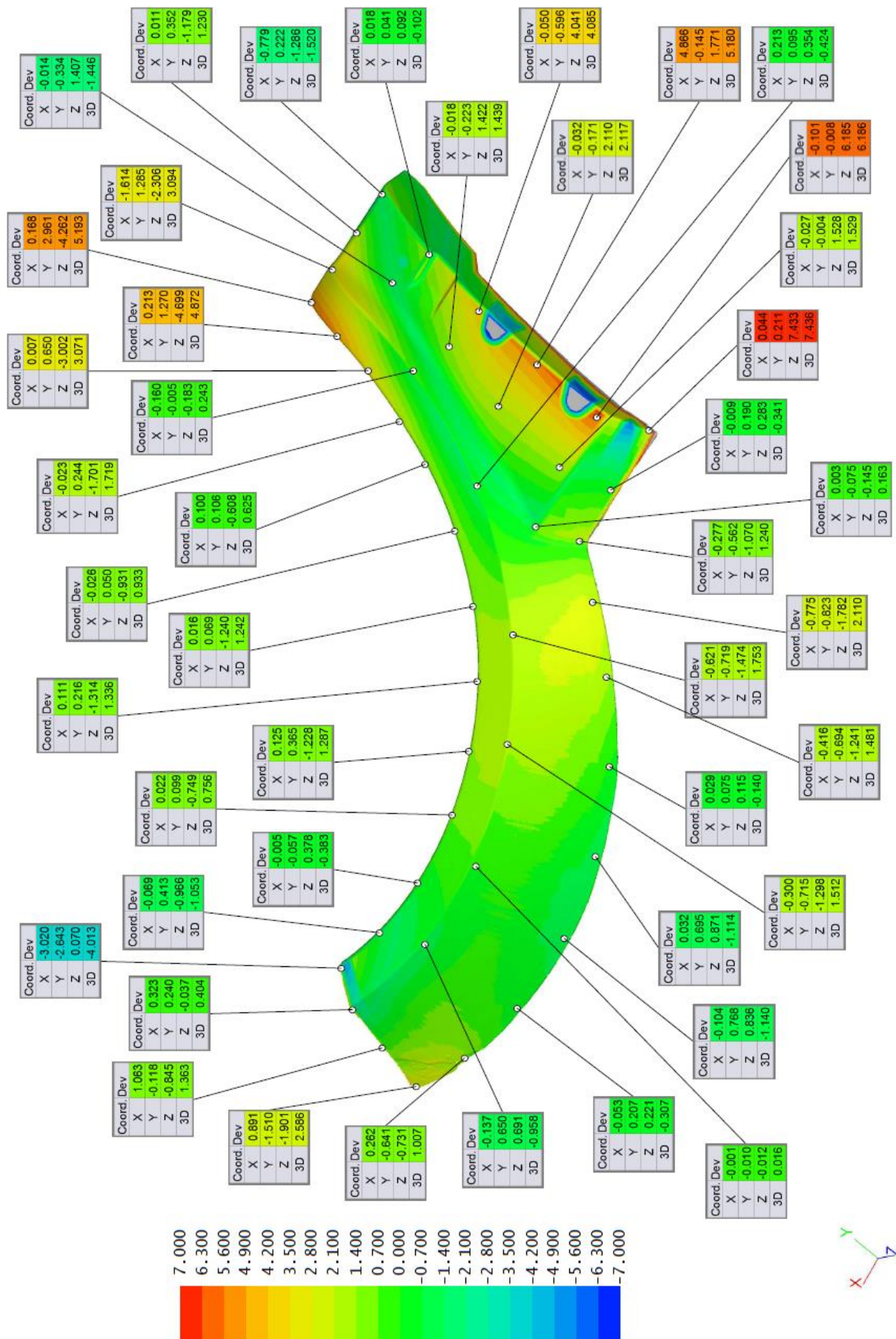
Duas posições do stl da peça guarda-lamas digitalizada.

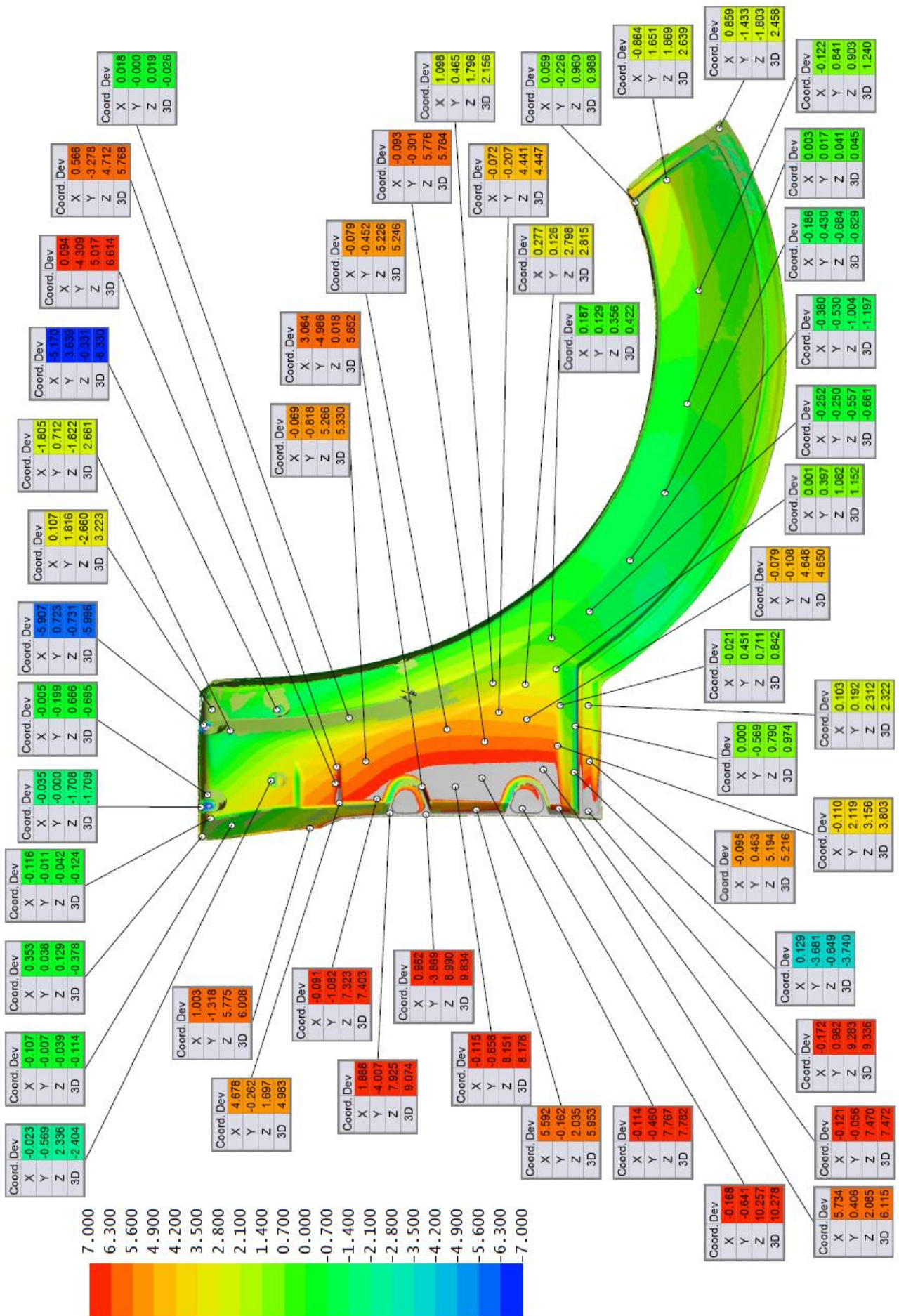


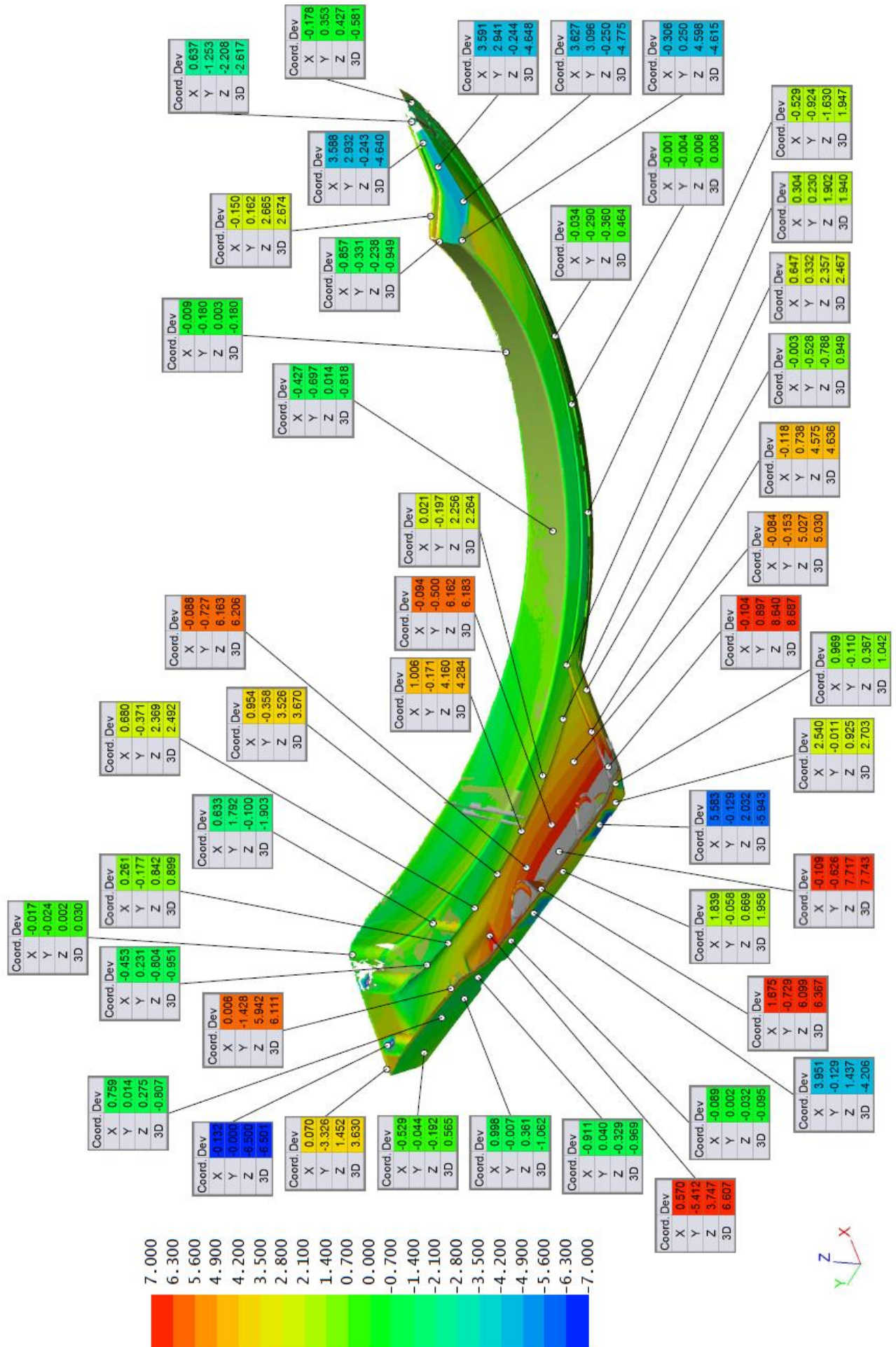
Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.



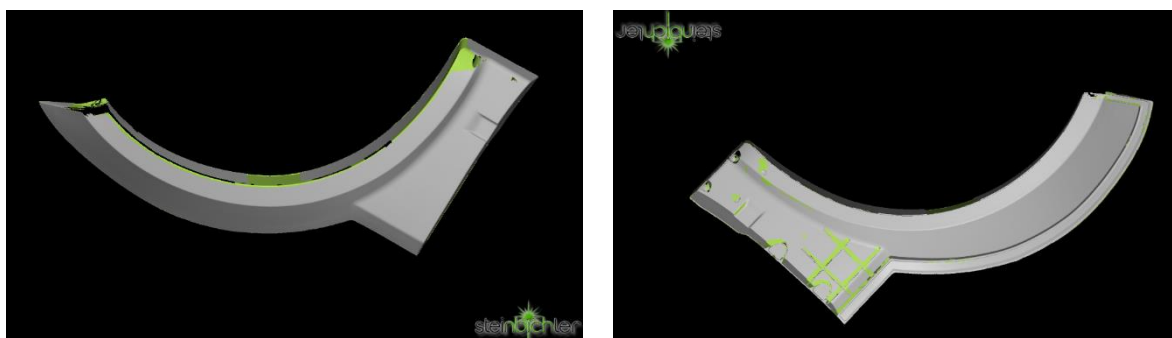
Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.



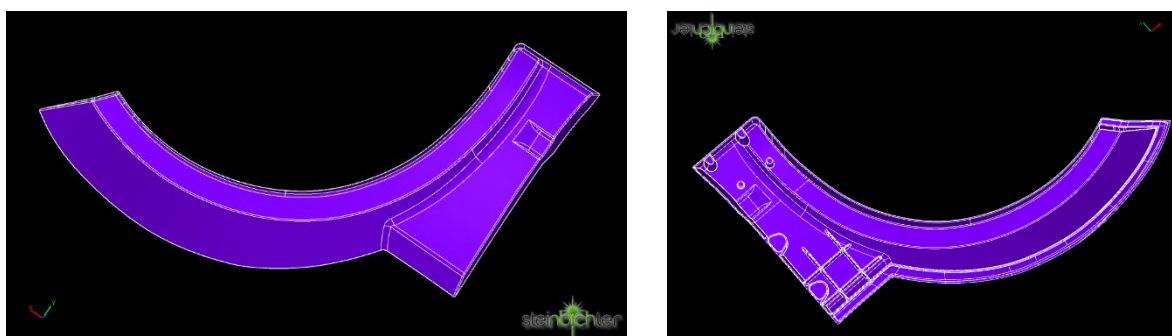




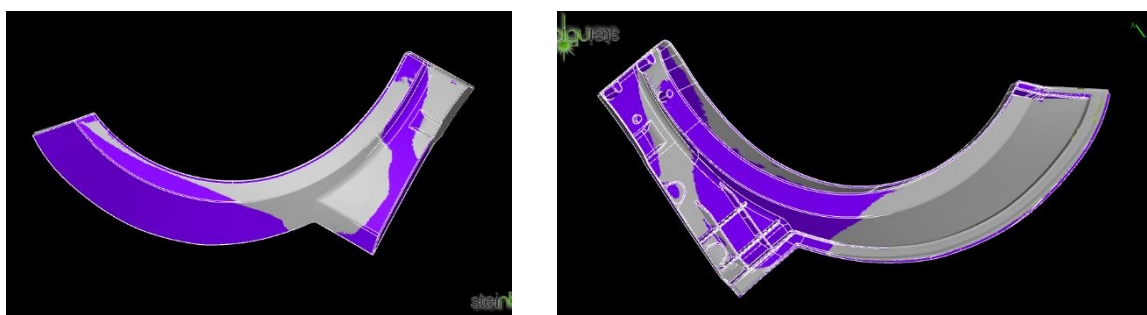
Peça Guarda-lamas com ribs



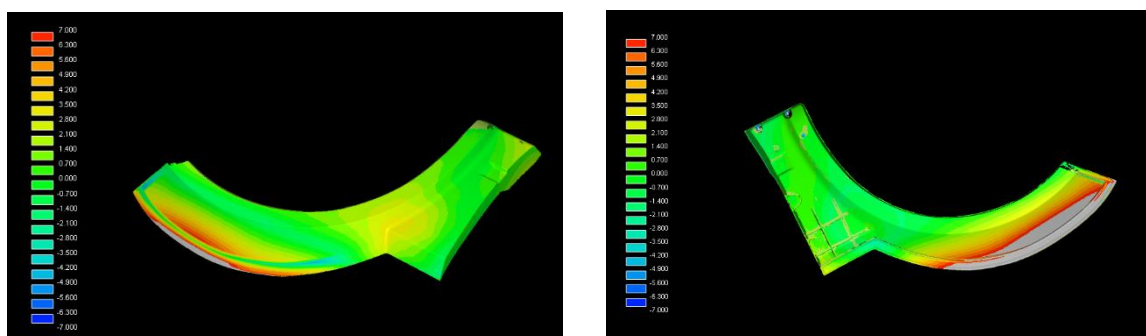
Duas posições do stl da guarda-lamas digitalizada.



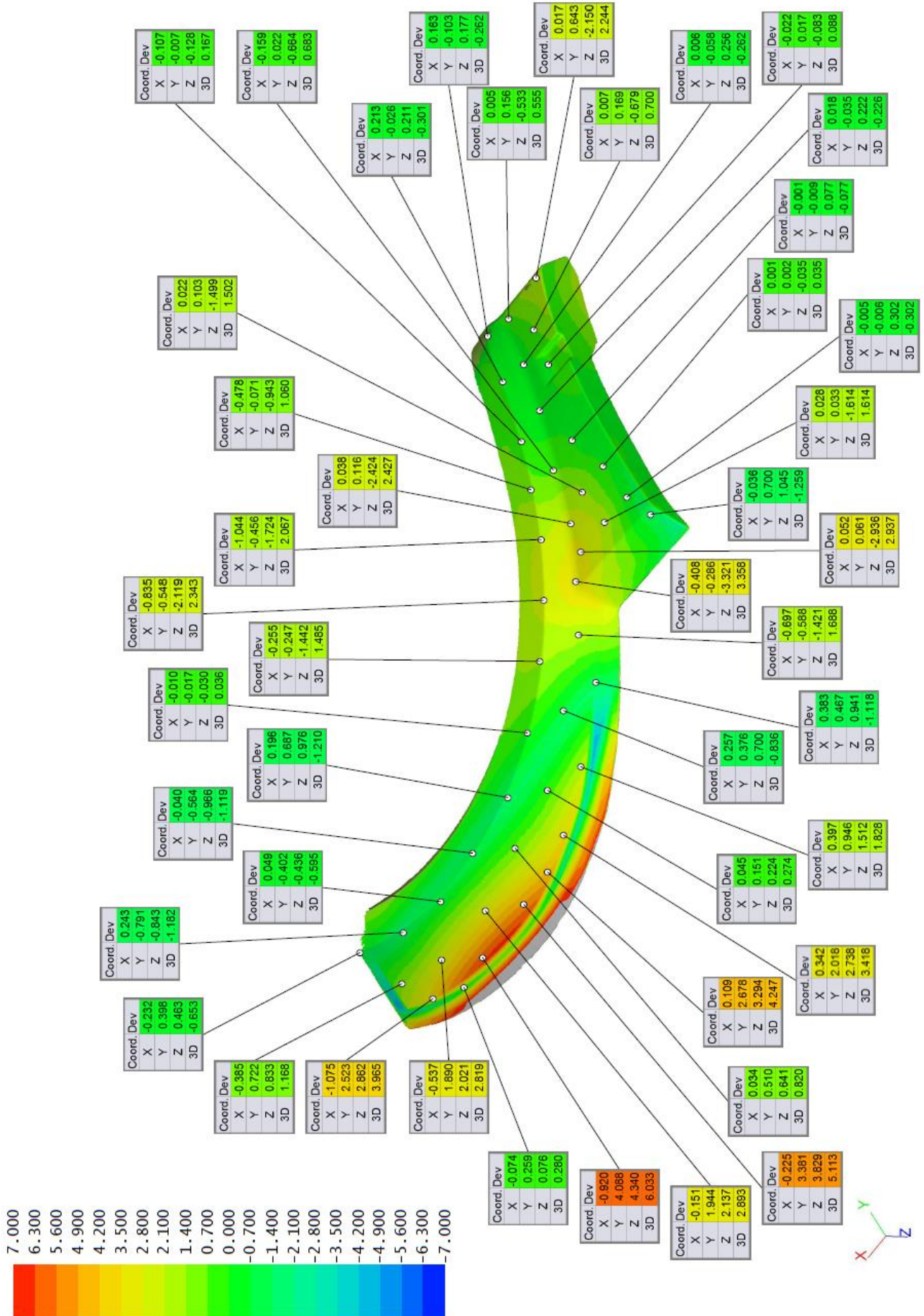
Duas posições do cad da peça.

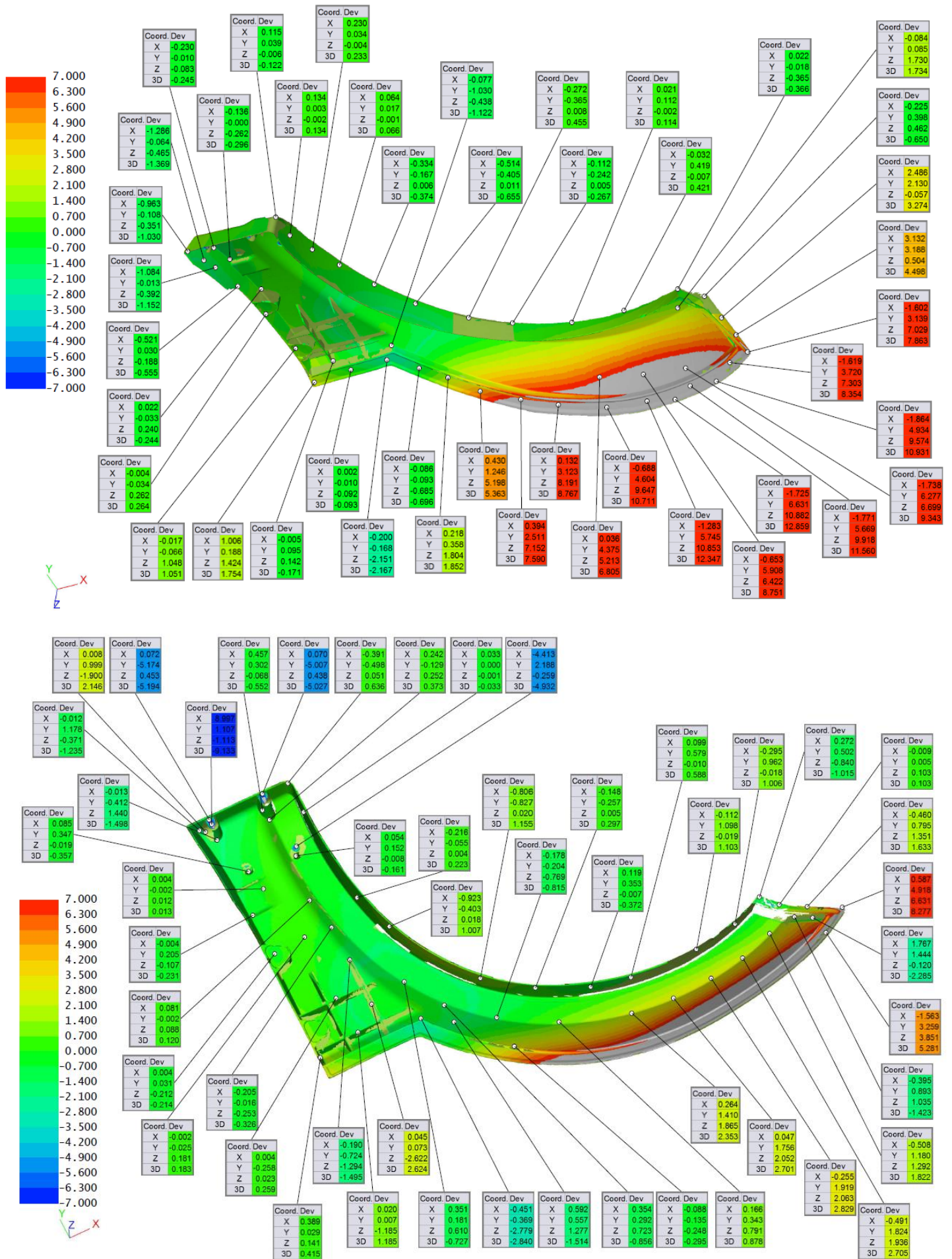


Duas posições da sobreposição do stl da peça digitalizada com o cad da peça.



Análise da sobreposição: Escala de desvios entre o stl da peça digitalizada e o cad, entre os -7 e 7 mm.





ANEXO AC: Acabamentos das peças

As peças após trimagem ficam assim:



Peça traseira injetada após trimagem.



Peça frente injetada após trimagem.

Observa-se a estufa onde é efetuada a pintura das peças:



Estufa de Pintura.



Peça antes da aplicação do primário.